

**CONVENZIONE QUADRO TRA INFRASTRUTTURE, RECUPERO, ENERGIA  
 AGENZIA REGIONALE LIGURE – IRE S.P.A. E REGIONE LIGURIA  
 PER LA REDAZIONE DI STUDI DI FATTIBILITA' E PROGETTAZIONI DI  
 INTERVENTI SU INFRASTRUTTURE DI INTERESSE REGIONALE**

Attività:

**ADEGUAMENTO DELLA CANALIZZAZIONE DEL RIO VERNAZZA CON  
 DEVIATORE NEL TORRENTE STURLA**

Oggetto:

**PROGETTO DEFINITIVO**

Titolo:

**RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

Doc. n: I0056\ESE\DEF\GEO\R001

Timbro e firma



| Rev. | Data       | Sez. | Pag. | Redatto | Controllato | Approvato | Descrizione   |
|------|------------|------|------|---------|-------------|-----------|---------------|
| A    | 13/07/2016 | 9    | 45   | AK      | FB          | SB        | Per emissione |
| 1    | 16/12/2016 | 9    | 47   | AK      | FB          | SB        | Per emissione |

## INDICE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Premessa .....  | 3  |
| 2     | Inquadramento geografico .....  | 3  |
| 3     | Caratteristiche dell'opera .....  | 5  |
| 4     | Inquadramento dell'area in esame .....                                      | 7  |
| 4.1   | Inquadramento geologico e strutturale.....                                  | 7  |
| 4.1.1 | Substrato di età Cretacica.....   | 11 |
| 4.1.2 | Litotipi pliocenici .....   | 12 |
| 4.1.3 | Depositi detritici quaternari .....   | 12 |
| 4.1.4 | Assetto strutturale dell'area .....   | 13 |
| 4.2   | Inquadramento geomorfologico .....  | 14 |
| 4.3   | Inquadramento idrogeologico .....   | 18 |
| 5     | Indagini geognostiche pregresse .....                                       | 22 |
| 5.1   | Indagini del Progetto Preliminare del 1997 .....                            | 22 |
| 5.2   | Indagini del Progetto ARTE .....  | 23 |
| 5.3   | Indagini geognostiche tratte da Ambiente Liguria .....                      | 27 |
| 5.4   | Indagini geognostiche del progetto Preliminare del 2015.....                | 28 |
| 6     | Indagini geognostiche del progetto definitivo del 2016.....                 | 30 |
| 7     | Elementi geologici, strutturali geomorfologici ed idrogeologici locali..... | 32 |
| 7.1   | Assetto geologico .....   | 32 |
| 7.2   | Assetto geomorfologico .....  | 36 |
| 7.3   | Assetto idrogeologico .....   | 38 |
| 8     | Modello geologico di riferimento .....                                      | 38 |
| 8.1   | Modello geologico del substrato pre-quaternario .....                       | 39 |
| 8.2   | Modello geologico dei depositi quaternari e dei riporti.....                | 42 |
| 8.3   | Modello geologico lungo il tracciato .....                                  | 45 |
| 9     | Analisi geologico tecnica del tracciato.....                                | 45 |



## 1 PREMESSA

Il presente elaborato è stato redatto nell'ambito del Progetto Definitivo di "Adeguamento della canalizzazione del torrente Vernazza con Deviatore nel Torrente Sturla" e descrive l'assetto geologico dell'area interessata dal Progetto.

In dettaglio l'elaborato descrive i risultati ottenuti dagli studi specialistici eseguiti al fine di definire l'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area entro cui verrà realizzata la deviazione del Rio Chiappeto.

L'elaborato è stato quindi strutturato come segue:

- Inquadramento geografico;
- Caratteristiche dell'opera;
- Inquadramento dell'area in esame;
- Indagini geognostiche pregresse;
- Indagini geognostiche di nuova realizzazione;
- Elementi geologici, strutturali, geomorfologici ed idrogeologici locali;
- Modello geologico di riferimento;
- Analisi geologico tecnica del tracciato.

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di indagine è situata nella Regione Liguria, entro il Comune di Genova. L'opera in esame ha la finalità di deviare il corso d'acqua del Rio Chiappeto a partire da Via Pontetti e di recapitarlo, mediante una galleria idraulica di nuova realizzazione, nell'alveo del Torrente Sturla.

Attualmente il Rio Chiappeto si presenta interamente tombinato e dopo aver percorso Via Pontetti si immette sotto la sede stradale di Via Isonzo per proseguire verso il mare in direzione generalmente NNE-SSW (vedi Figura 2.1) fino a confluire nel Rio Vernazza.

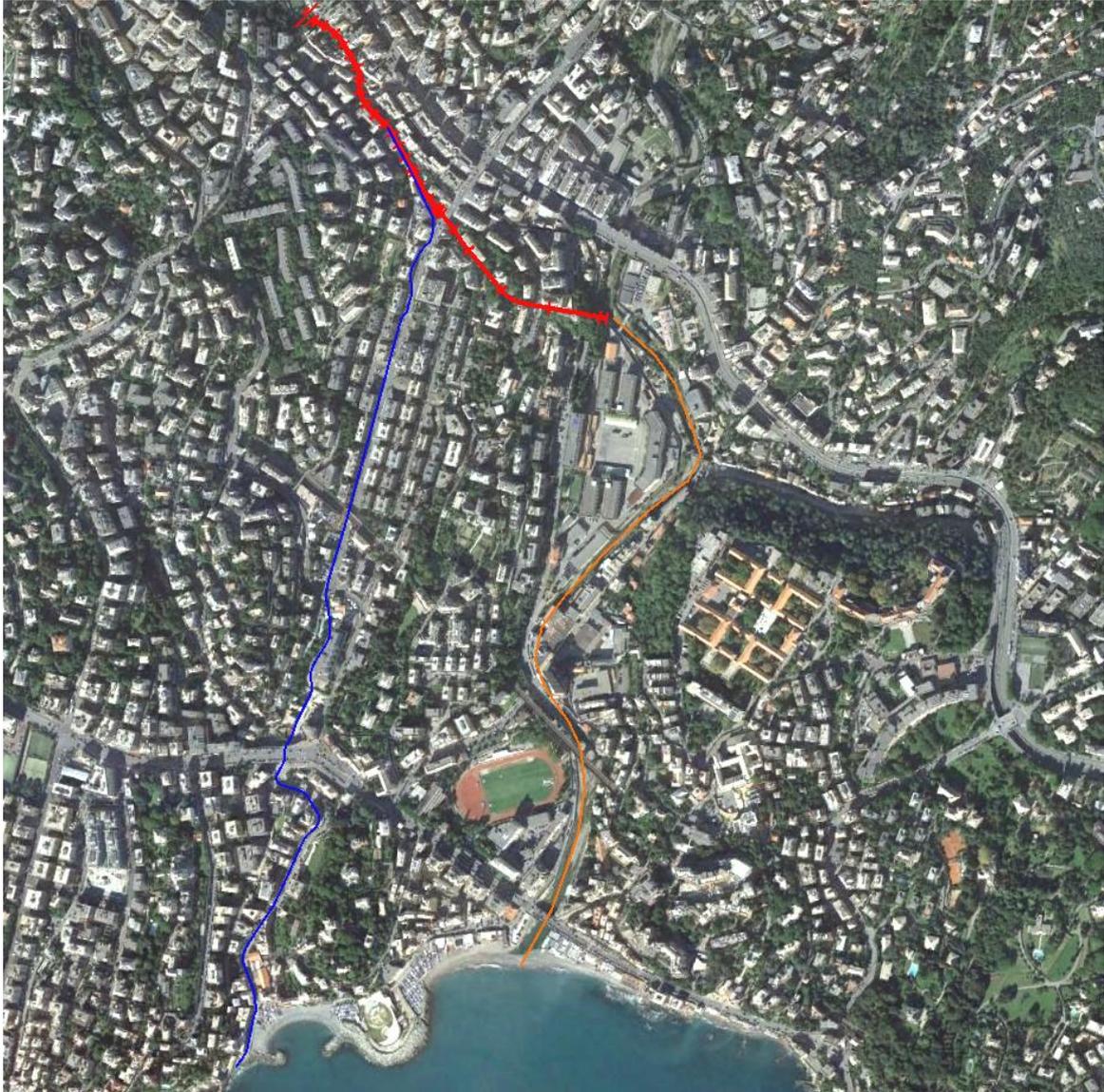


Figura 2.1: Tratto tombinato del Rio Chiappeto a partire da Via Pontetti fino allo sbocco in mare (con il nome di Rio Vernazza) (linea in blu), tracciato delle opere di deviazione in progetto (in rosso) e tratto di alveo del Torrente Sturla interessato dal recapito delle acque del Rio Chiappeto (in arancione). Immagine non in scala.



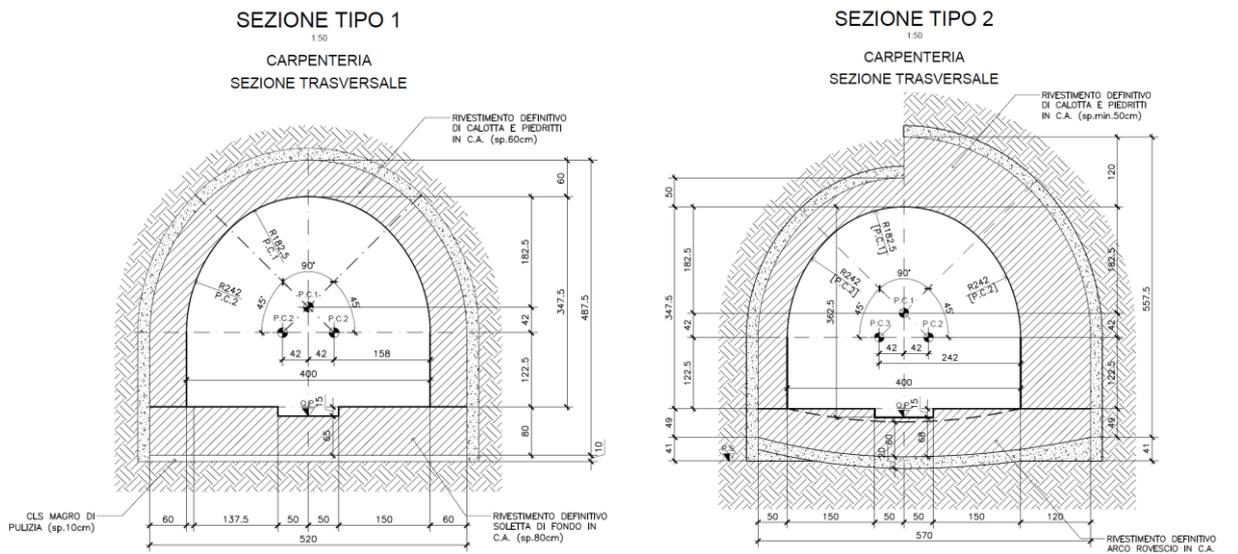


Figura 3.1: Sezione tipo 1 prevista per lo scavo della galleria entro gli ammassi rocciosi (a sinistra) e sezione tipo 2 per lo scavo entro materiali argillosi (a destra).

L'opera di sbocco situata presso la sponda destra del Torrente Sturla è costituita da un manufatto di forma rettangolare caratterizzato da una serie di gradini di 30 cm di altezza funzionali alla dissipazione dell'energia cinetica delle acque (vedi Figura 3.3).



Figura 3.2: Tracciato della galleria idraulica. Immagine non in scala.

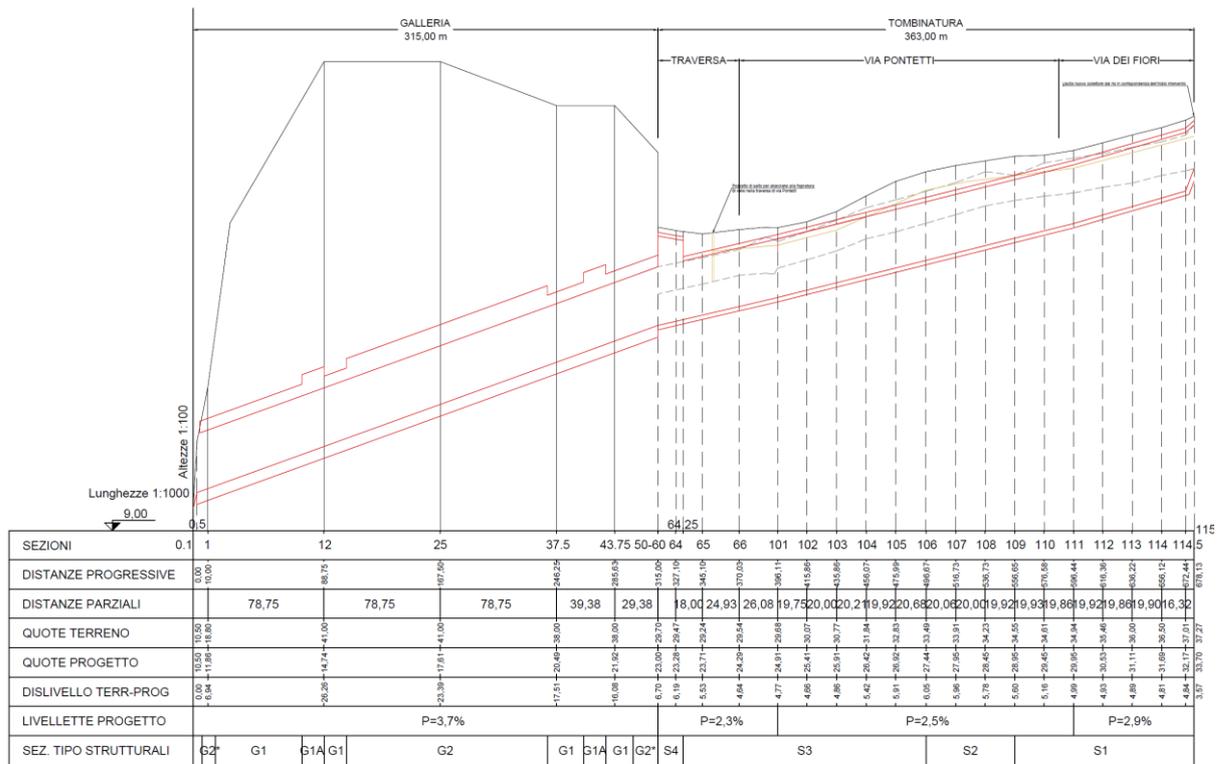


Figura 3.3: Profilo di progetto della galleria idraulica. Immagine non in scala.

## 4 INQUADRAMENTO DELL'AREA IN ESAME

### 4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

Il presente Capitolo fornisce un inquadramento generale dell'area in studio sulla base delle informazioni pregresse attualmente disponibili per essa, riguardanti in dettaglio i principali caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici.

L'assetto geologico dell'area in esame è stato descritto principalmente dalla nuova Carta Geologica d'Italia, edita in scala 1:50000 Foglio n° 213 "Genova"; le informazioni riportate nel presente paragrafo sono state tratte principalmente dalle Note Illustrative di tale Foglio.

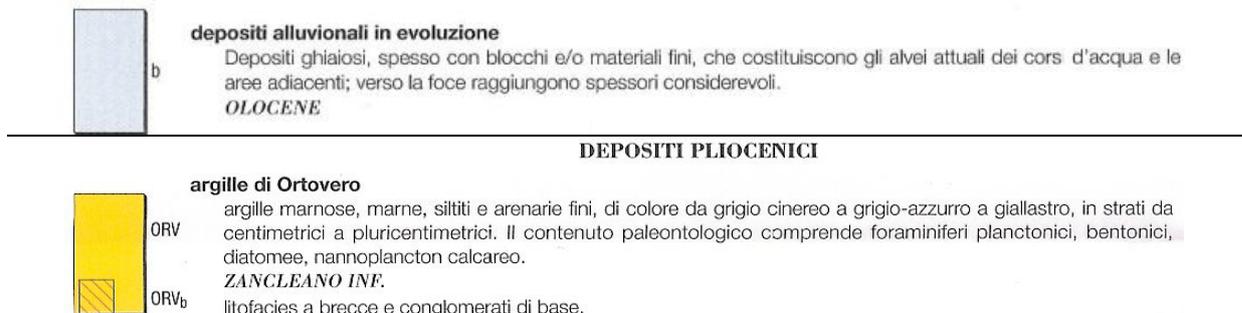
Secondo quanto riportato in tale cartografia l'area è quindi caratterizzata dalla presenza dei seguenti litotipi, elencati dal basso verso l'alto stratigrafico:

- Argilliti di Montoggio (MGG);
- Formazione del Monte Antola (FAN);
- Argille di Ortovero (ORV);
- Depositi alluvionali in evoluzione (b).



Figura 4.1: Stralcio della Carta geologica in scala 1:50000, progetto CARG, Foglio 213 "Genova". La parte di alveo tombinata è stata indicata in blu, mentre il tracciato della galleria idraulica è stato riportato in rosso. Immagine non in scala.

Alla scala dell'area studiata le Argilliti di Montoggio e la Formazione del Monte Antola costituiscono il substrato roccioso di età cretacea, successivamente ricoperto da depositi detritici pliocenici di origine marina costituiti dalle Argille di Ortovero. Il termine più recente della successione stratigrafica riconosciuta entro l'area è costituito dai depositi detritici quaternari formati in particolare da "depositi alluvionali in evoluzione" (vedi Figura 4.1, Figura 4.2 e Figura 4.3).



### UNITÀ TETTONICA ANTOLA

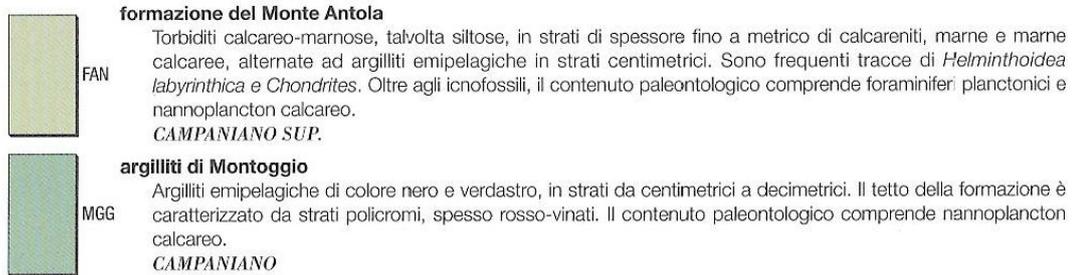


Figura 4.2: Legenda dello stralcio riportato in Figura 4.1.

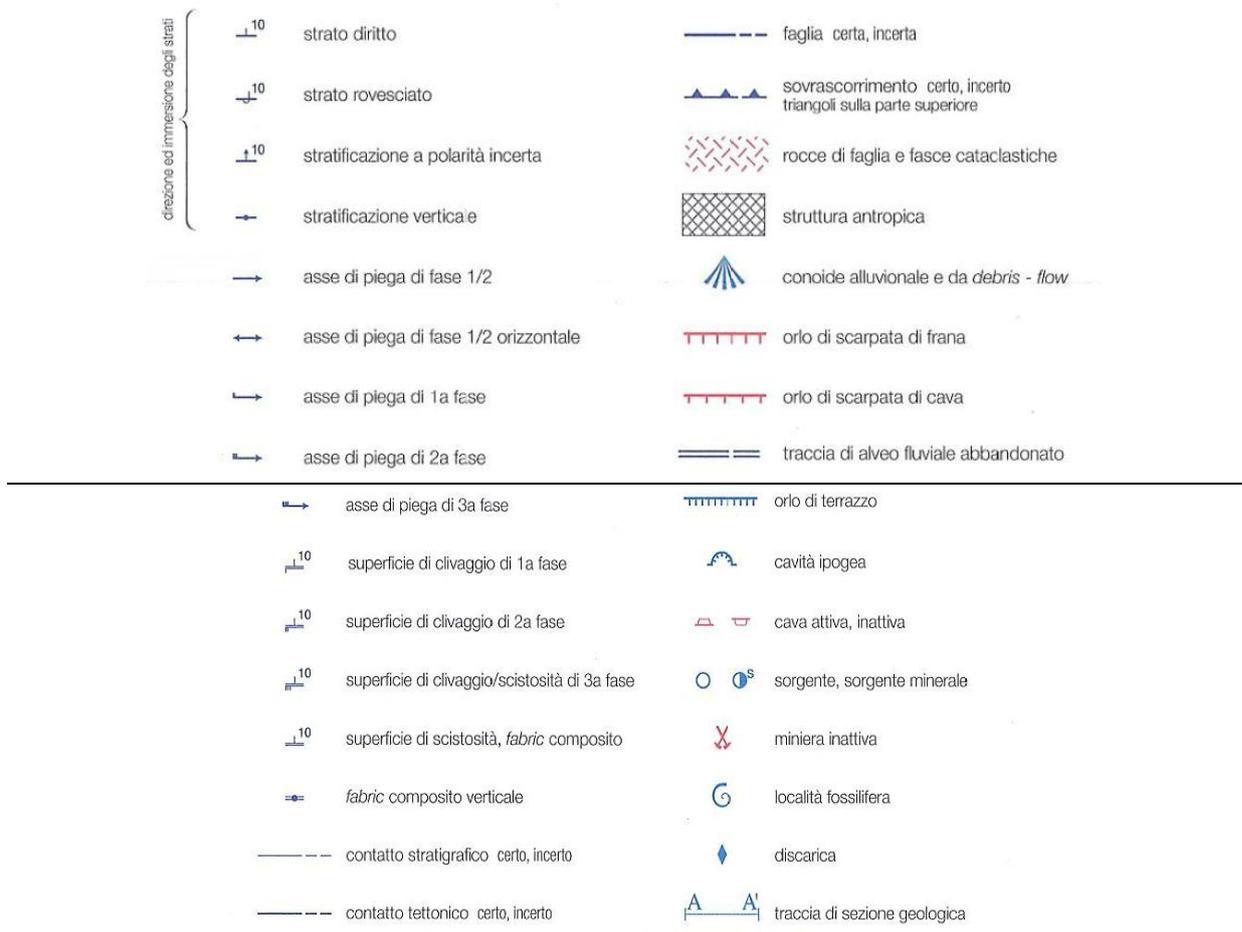


Figura 4.3: Legenda dello stralcio riportato in Figura 4.1.

La Carta geologica allegata al Piano Urbanistico Comunale (da ora PUC) della Città di Genova riporta un assetto geologico molto simile a quello cartografato dal Progetto CARG, in quanto anche in questo caso l'area è caratterizzata dalla presenza di un substrato litoide di età cretacea (Formazione del Monte Antola - CAM), ricoperto da depositi marini di età pliocenica (Argille di Ortovero - AOR).

Adeguamento della canalizzazione del rio Vernazza con deviatore nel torrente Sturla  
 Progetto Definitivo – Relazione geologica ed idrogeologica

I depositi quaternari sono costituiti da coltri eluvio-colluviali di potenza significativa (CD), e depositi alluvionali e marini (AA e AM) disposti lungo gli attuali corsi d'acqua.; in aggiunta il PUC distingue la presenza di estese coltri di riporti di origine antropica (RIP).

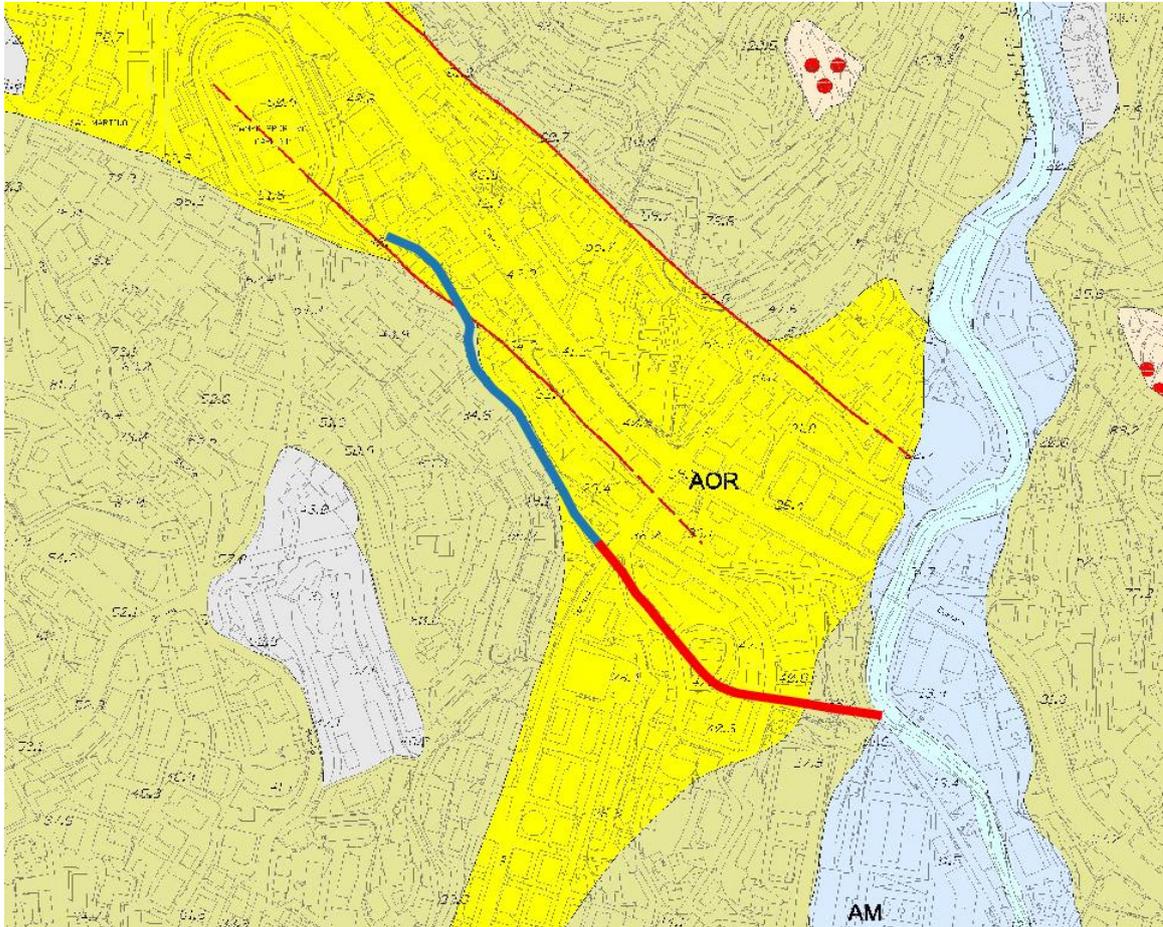


Figura 4.4: Stralcio della Carta Geologica in scala 1:5000, Foglio n°39 del PUC del Comune di Genova. La parte di alveo tombinata è stata indicata in blu, mentre il tracciato della galleria idraulica è stato riportato in rosso. Immagine non in scala.

|                  |   |  |     |   |
|------------------|---|--|-----|---|
| FORME ANTROPICHE | { |  | RIP | Riporti artificiali e discariche<br>Depositati vari rimaneggiati  |
| QUATERNARIO      | { |  | CD  | Coltri eluvio-colluviali di importanza particolare  |
|                  |   |  | AA  | Sedimenti di alveo  |
|                  |   |  | AM  | Sedimenti alluvionali e marini<br>Depositati ghiaiosi e sabbiosi posti a quota plu' elevata rispetto agli alvei attuali o all'attuale livello del mare, talvolta terrazzati e/o coperti da coltri eluvio-colluviali di spessore variabile |

| DEPOSITI PLIOCENICI     |   |  |
|-------------------------|---|--|
| PLIOCENE                | {  | AOR Argille di Ortovero<br>Argille marnose, marne, siltiti e arenarie fini, di colore da grigio cinereo a grigio-azzurro a giallastro                  |
| UNITA' TETTONICA ANTOLA |   |  |
| PALEOCENE -<br>CRETACEO | {  | CMA Formazione del M. Antola<br>Torbiditi calcareo-marnose, talvolta siltose, calcareniti, marne e marne calcaree, alternate ad argilliti emipelagiche |
|                         | {  | AMO Argilliti di Montoggio<br>Argilliti emipelagiche di colore nero e verdastro  |

Figura 4.5: Legenda dello stralcio riportato in Figura 4.4.

#### 4.1.1 SUBSTRATO DI ETÀ CRETACICA

Come anticipato il substrato di età cretacea comprende:

- Le argilliti di Montoggio (MGG o AMO);
- La Formazione del Monte Antola (FAN o CMA).

Le **Argilliti di Montoggio (MGG o AMO)** affiorano in corpi poco potenti e sottili orizzonti alla base dei calcari della Formazione del Monte Antola. Sono costituite da argilliti emipelagiche di colore nero e verdastro, più o meno siltose, in strati da centimetrici a decimetrici, con rare intercalazioni di arenarie quarzose e di calcari arenacei e marnosi. Il tetto della formazione è caratterizzato da scisti policromi, spesso rosso-vinati. L'associazione di facies suggerisce un ambiente deposizionale di piana di bacino sottoalimentata (Marini, 1998).

La valutazione dello spessore è largamente ipotetica, sia a causa delle deformazioni plicative, sia a causa delle laminazioni tettoniche, soprattutto nei pressi del contatto con la formazione del Monte Antola; uno spessore compreso tra i 40 e i 60 m è comunque ipotizzato da (Marini, 1998). Sulla base del nannoplancton calcareo (Genna, 1988 in Gardini et. Alii, 1992) l'età è attribuita al Campaniano. Nei rari affioramenti in cui è visibile il passaggio stratigrafico ai calcari della formazione del Monte Antola, il contatto è quasi sempre riattivato tettonicamente da zone di taglio, probabilmente a causa della disarmonia di comportamento delle due formazioni durante la deformazione.

La **Formazione del Monte Antola (FAN o CMA)** affiora in potenti successioni nella parte sudoccidentale del foglio, dove costituisce il substrato della parte orientale della città di Genova. Si tratta di torbiditi calcareo-marnose con strati di spessore fino a plurimetrico di calcareniti, marne e marne calcaree, alternate ad argilliti emipelagiche in strati centimetrici.

Anche per questa formazione lo spessore originale è difficilmente quantificabile a causa di più deformazioni plicative sovrapposte; Marini, 1998 ipotizza la presenza di spessori pari a circa 1000 m.

La Formazione del Monte Antola è storicamente riconosciuta anche come flysch ad Helminthoidi. La presenza di sequenze incomplete di Bouma, le strutture sedimentarie presenti soprattutto alla base degli strati e la scarsa presenza di strutture erosive permettono di ipotizzare una deposizione da correnti di torbidità a bassa densità, in un ambiente deposizionale di piana abissale.

Le datazioni eseguite mediante Foraminiferi planctonici e di nannoplancton calcareo hanno permesso di attribuire tale Formazione al cretaceo Superiore, più precisamente al Campaniano superiore.

---

#### 4.1.2 LITOTIPI PLIOCENICI

Le **Argille di Ortovero (ORV o AOR)** sono costituite da argille marnose, marne, siltiti e arenarie fini, di colore da grigio cinereo a grigio-azzurro, in strati da centimetrici a pluricentimetrici.

La stratificazione non è sempre ben marcata, soprattutto verso l'alto stratigrafico. Il contatto basale con il substrato ha caratteristiche trasgressive ed è spesso caratterizzato da un livello a brecce e conglomerati (ORVb), il cui spessore va da pochi cm a qualche m. Ciò testimonia la rapidità dell'evento trasgressivo e dell'affondamento fino a profondità stimate intorno ai 400 - 500 m.

Le Argille di Ortovero sono presenti in diverse aree (Genova e Arenzano) in graben di piccola estensione delimitati da faglie subparallele alla costa. In molti casi questi depositi sono ormai da tempo non più visibili in quanto coperti dall'urbanizzazione e quindi accessibili solo in occasione di sondaggi e scavi; solo nel settore di Genova ovest (Borzoli, Villa Duchessa di Galliera a Voltri) ed Arenzano sono ancora visibili pochi e limitati affioramenti.

Sulla base delle datazioni eseguite mediante il contenuto fossilifero rinvenuto negli affioramenti individuati è stato possibile attribuire le Argille di Ortovero allo Zancleano.

---

#### 4.1.3 DEPOSITI DETRITICI QUATERNARI

I depositi detritici quaternari sono essenzialmente rappresentati da:

- Depositi alluvionali (b o AM);
- Sedimenti attuali di alveo (AA);
- Coltri eluvio colluviali (CD);
- Riporti artificiali e discariche (RIP).

I **depositi alluvionali (b o AM)** sono depositi prevalentemente ghiaiosi, anche se talvolta sono presenti blocchi e/o materiali fini, che costituiscono gli alvei attuali e le aree adiacenti.

La risalita del mare e il sollevamento dell'area durante l'Olocene hanno favorito l'aggradazione dei depositi alluvionali delle piccole piane costiere e la genesi di evidenti terrazzi fluviali. Riguardo alle piane costiere recenti indagini geognostiche hanno messo in evidenza uno spessore di oltre 60 m della coltre alluvionale del Torrente Polcevera nella

zona di foce, confermando la presenza della struttura del canyon sottomarino anche nella porzione emersa del margine. In questo caso i depositi alluvionali grossolani sono alternati, negli ultimi 25 m, a depositi fini che hanno rivelato età olocenica (Brandolini et alii, 2002).

La Carta geologica del PUC all'interno dei depositi alluvionali distingue inoltre la presenza di **sedimenti attuali di alveo (AA)** disposti in corrispondenza degli alvei attuali e costituiti da depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi in evoluzione.

**Le coltri eluvio-colluviali (CD)** costituiscono coperture detritiche sviluppatesi in situ a spese del substrato costituite da clasti di dimensioni eterometriche in matrice sabbiosa limosa; talvolta risultano pedogenizzate e spesso inglobano anche elementi grossolani mobilizzati da processi di versante.

**I riporti artificiali e discariche (RIP)** sono caratterizzati dalla presenza di materiale eterogeneo per pezzatura, provenienza, chimismo e caratteristiche geotecniche e geomeccaniche, riportato e rimaneggiato antropicamente.

---

#### 4.1.4 ASSETTO STRUTTURALE DELL'AREA

L'assetto strutturale dell'area è caratterizzato principalmente dalla presenza del graben delimitato da faglie a direzione NW-SE entro cui si sono deposte le Argille di Ortovero. Tale struttura, evidenziata sia dalla cartografia CARG che dal PUC della Città di Genova, è caratterizzata da orientazione parallela alla costa e ha ribassato una porzione di substrato cretacico creando lo spazio per l'instaurarsi di una sedimentazione marina.

In generale il Foglio CARG ha individuato tre famiglie principali:

- Faglie ad andamento Nord-Sud a cui sono associati sistemi minori aventi orientazione comprese tra NW-SE e NE-SW;
- Faglie con orientazioni comprese tra ENE-WSW ed ESE-WNW;
- Sistemi di frattura con orientazione NE-SW e ENE-WSW.

Il sistema di faglie ad andamento Nord-Sud si sviluppa parallelamente alla Linea Sestri Voltaggio ed è caratterizzato da importanti faglie subverticali caratterizzate da cinematismo trascorrente/transpressivo destro e riattivazioni successive con movimenti normali e inversi. Le zone di danneggiamento sono caratterizzate dalla presenza di cataclasiti, fault-gouge e microbrecce di potenza da decimetrica a metrica.

Al sistema Nord-Sud sono associate delle strutture minori caratterizzate da orientazioni comprese tra NW-SE ed NE-SW; tali strutture rappresentano delle associazioni di Riedel e sono caratterizzate da faglie subverticali da metriche a decametriche con cinematismo prevalentemente trascorrente destro. Le zone di danneggiamento sono caratterizzate dalla presenza di cataclasiti e microbrecce di potenza da decimetrica.

La distribuzione delle strutture della prima famiglia è concentrata principalmente ad Ovest rispetto a Genova, pertanto nell'area in esame è scarsamente probabile che esse possano essere presenti.

I sistemi di faglie con orientazione ENE-WSW ed ESE-WNW sono caratterizzati da faglie subverticali ad estensione da metrica a decametrica e zone di danneggiamento di potenza da centimetrica a decimetrica. Il cinematismo delle strutture è caratterizzato da trascorrenze destre e sinistre. Tali sistemi tagliano spesso le strutture appartenenti alla prima famiglia e talora le riattivano secondo faglie normali o inverse. L'azione del sistema di faglie della seconda e la riattivazione della prima famiglia ha permesso lo sviluppo di strutture a graben subparallele alla costa entro le quali si sono deposte le Argille di Ortovero. Nell'area in esame è presente una struttura di graben legata all'azione tettonica dei due sistemi di faglia.

In ultimo i sistemi con orientazione NE-SW ed ENE-WSW producono modeste fratture subverticali ampiamente diffuse entro tutta l'area in esame.

## 4.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico dell'area in esame è stato descritto dal PUC e dal Piano di Bacino Ambito n°14 del Comune di Genova.

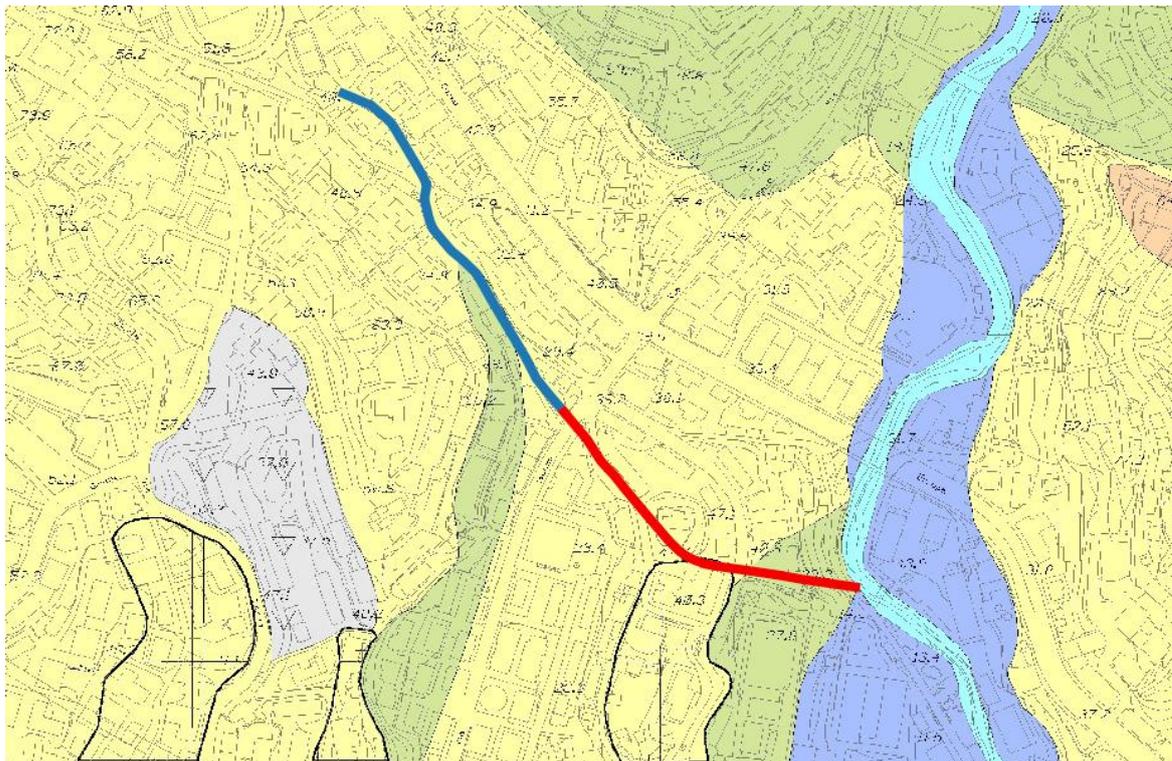


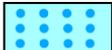
Figura 4.6: Stralcio della Carta Geomorfologica in scala 1:5000, Foglio n°39 del PUC del Comune di Genova. La parte di alveo tombinata è stata indicata in blu, mentre il tracciato della galleria idraulica è stato riportato in rosso. Immagine non in scala.

Analizzando la cartografia del PUC si osserva generalmente la presenza di estese coltri di materiali sciolti che ricoprono un substrato roccioso; il principale elemento morfologico presente nell'area è costituito dal terrazzo di origine marina esteso lungo la dorsale a direzione NNE-SSW che verrà attraversata dalla galleria idraulica (vedi Figura 4.6). Tale aspetto evidenzia quindi la presenza di una significativa fase di modellamento morfologico operata in ambiente marino.

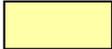
Adeguamento della canalizzazione del rio Vernazza con deviatore nel torrente Sturla  
Progetto Definitivo – Relazione geologica ed idrogeologica

Il PUC suggerisce inoltre la presenza di un rimodellamento fluviale operato dal Torrente Sturla che, defluendo e divagando in direzione SSW, ha prodotto un'incisione fluviale erodendo il substrato calcareo composto dalla Formazione del Monte Antola. La cartografia di PUC non riporta la presenza di movimenti franosi entro l'area studiata.

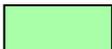
1) ALLUVIONI E SPIAGGE

-  Alluvioni attuali
-  Alluvioni e/o depositi di spiaggia antichi
-  Alluvioni lacustri
-  Spiagge attuali

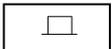
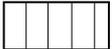
2) VERSANTI IN MATERIALI SCIOLTI

-  Coltri eluvio-colluviali e/o miste di spessore da 0,50 a 3 metri
-  Coltri eluvio-colluviali e/o miste di spessore da 3 a 5 metri
-  Coltri eluvio-colluviali e/o miste di spessore maggiore di 5 metri
-  Ammassi detritici
-  Depositi periglaciali

3) VERSANTI IN ROCCIA

-  Roccia affiorante e/o subaffiorante in buone condizioni di conservazione con disposizione favorevole delle proprie strutture rispetto al pendio
-  Roccia affiorante e/o subaffiorante in buone condizioni di conservazione con disposizione sfavorevole delle proprie strutture rispetto al pendio
-  Roccia affiorante e/o subaffiorante, in scadenti condizioni di conservazione, alterata e particolarmente fratturata e/o con ricorrente variabilità giaciturale

4) FORME ANTROPICHE

-  Cave in attività o dismesse
-  Riporti, riempimenti artificiali, discariche
-  Superfici spianate di origine antropica
-  Limite di ciglio di cave attive e in abbandono
-  Scarpata di origine antropica

5) FORME E PROCESSI DOVUTI ALL'AZIONE DELLE ACQUE e FORME COSTIERE

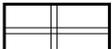
-  Terrazzi marini / falesie

Figura 4.7: Legenda dello stralcio riportato in Figura 4.6.

La Carta Geomorfologica del Piano di Bacino (vedi Figura 4.8) conferma le indicazioni contenute nella cartografia del PUC, accertando l'assenza di movimenti franosi e la profonda modellazione morfologica operata dal Torrente Sturla. Essa inoltre riporta la presenza di rotture di pendenza operate da processi morfologici non definiti.



Figura 4.8: Stralci della Carta Geomorfologica in scala 1:10000, del Piano di Bacino Ambito n°14 del Comune di Genova. La parte di alveo tombinata è stata indicata in blu, mentre il tracciato della galleria idraulica è stato riportato in rosso. Immagine non in scala.

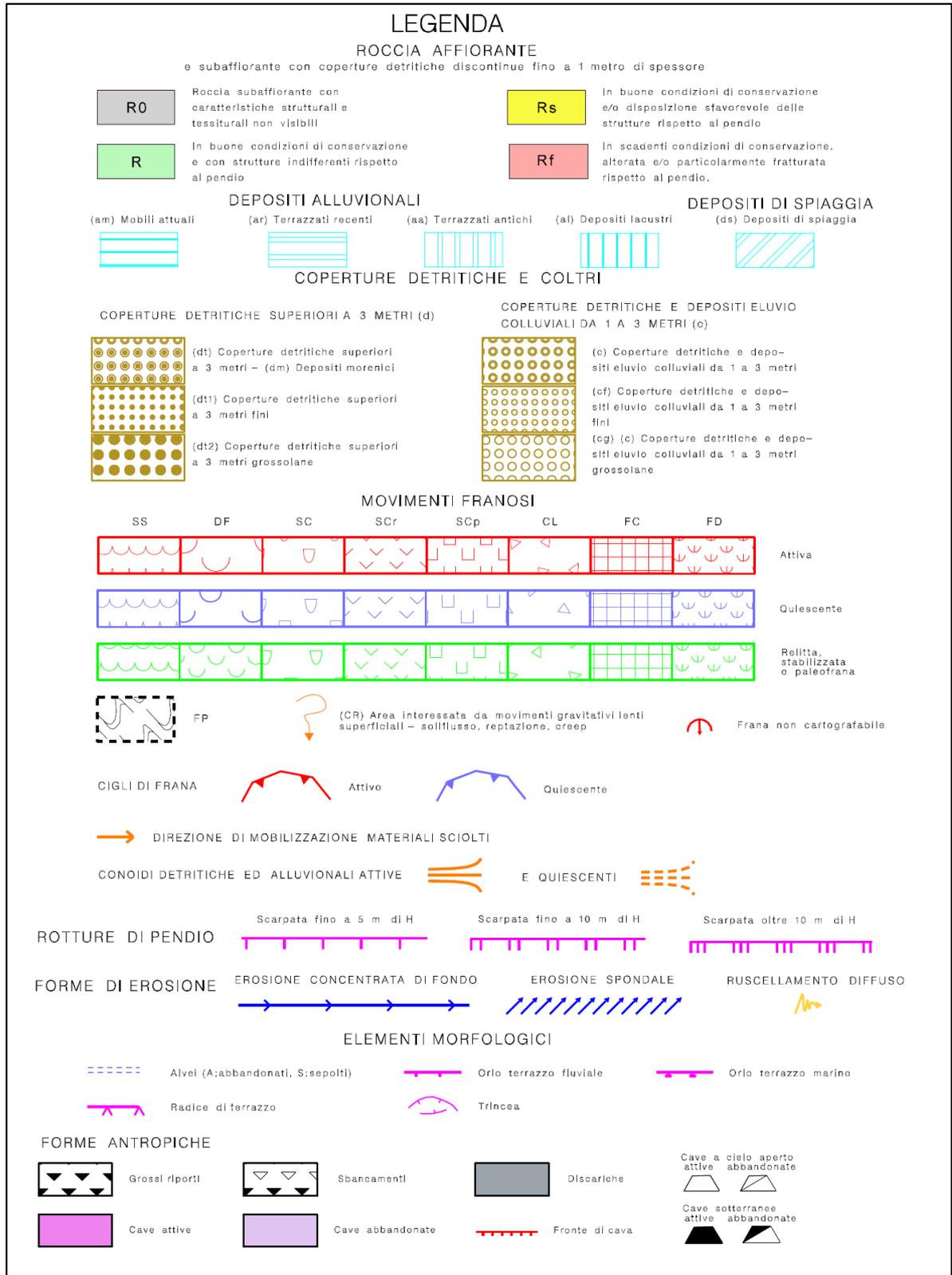


Figura 4.9: Legenda dello stralcio riportato in Figura 4.8.

### 4.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Analogamente a quanto evidenziato per l'assetto geomorfologico dell'area, anche gli elementi idrogeologici sono stati trattati dal PUC (vedi Figura 4.10) e dal Piano di Bacino Ambito n°14 del Comune di Genova (Figura 4.12). Analizzando le cartografie allegate si può notare la totale assenza di emergenze idriche (sorgenti) e di opere di captazione per le acque sotterranee (pozzi).



Figura 4.10: Stralcio della Carta Idrogeologica in scala 1:5000, Foglio n°39 del PUC del Comune di Genova. La parte di alveo tombinato è stata indicata in blu, mentre il tracciato della galleria idraulica è stato riportato in rosso. Immagine non in scala.

La Carta idrogeologica del PUC riporta inoltre la presenza di litologie caratterizzate da un forte contrasto di permeabilità, in quanto i calcari della Formazione del Monte Antola presentano una bassa permeabilità per fratturazione, mentre le sovrastanti Argille di Ortovero sono caratterizzate prevalentemente da una permeabilità per porosità. Le opere in progetto interesseranno quindi un settore di contatto tra queste due unità idrogeologiche principali. In ultimo i depositi alluvionali del Torrente Sturla sono caratterizzati da permeabilità per porosità.

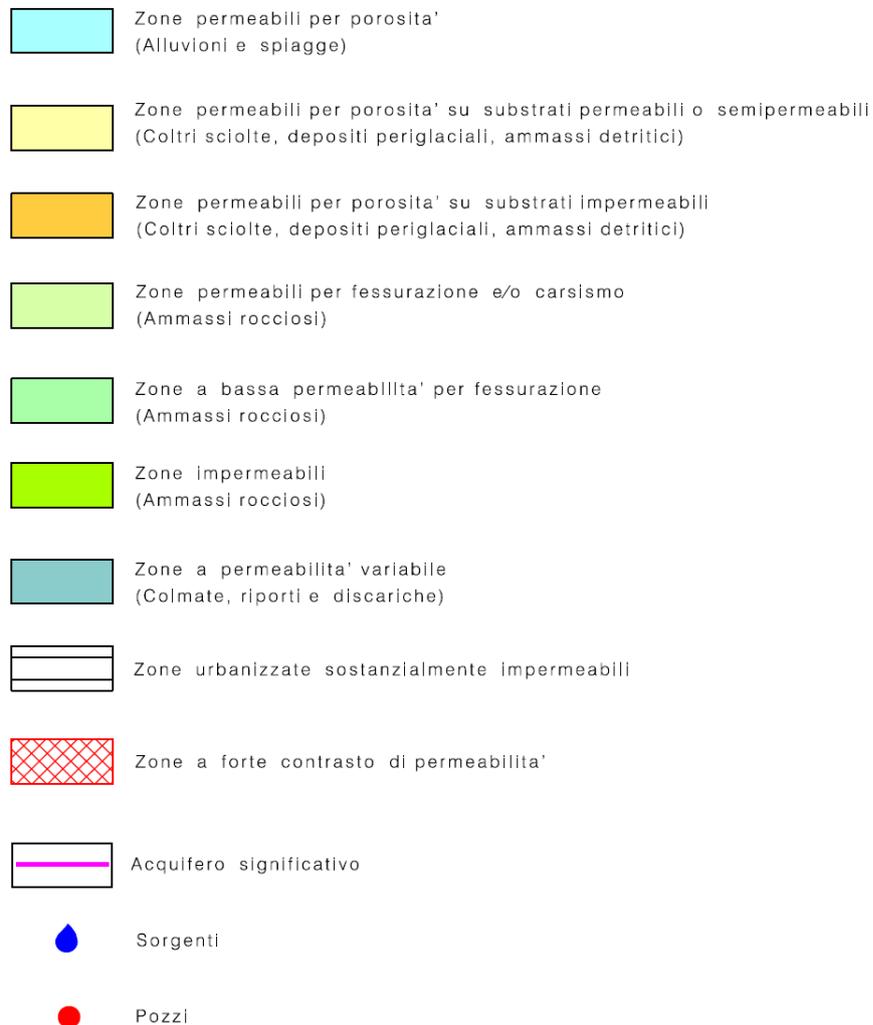


Figura 4.11: Legenda dello stralcio riportato in Figura 4.10.

La Carta idrogeologica del Piano di Bacino riporta invece la presenza di terreni impermeabili costituiti dalle Argille di Ortovero sovrapposte ad un substrato roccioso permeabile per fratturazione e fessurazione costituito dai calcari della Formazione dell'Antola. I depositi alluvionali localizzati presso il Torrente Sturla sono caratterizzati da permeabilità per porosità.

La cartografia del Piano di Bacino esclude inoltre la presenza di aree di ricarica della falda acquifera, definite nella legenda di Figura 4.13 come "zone di impregnazione".

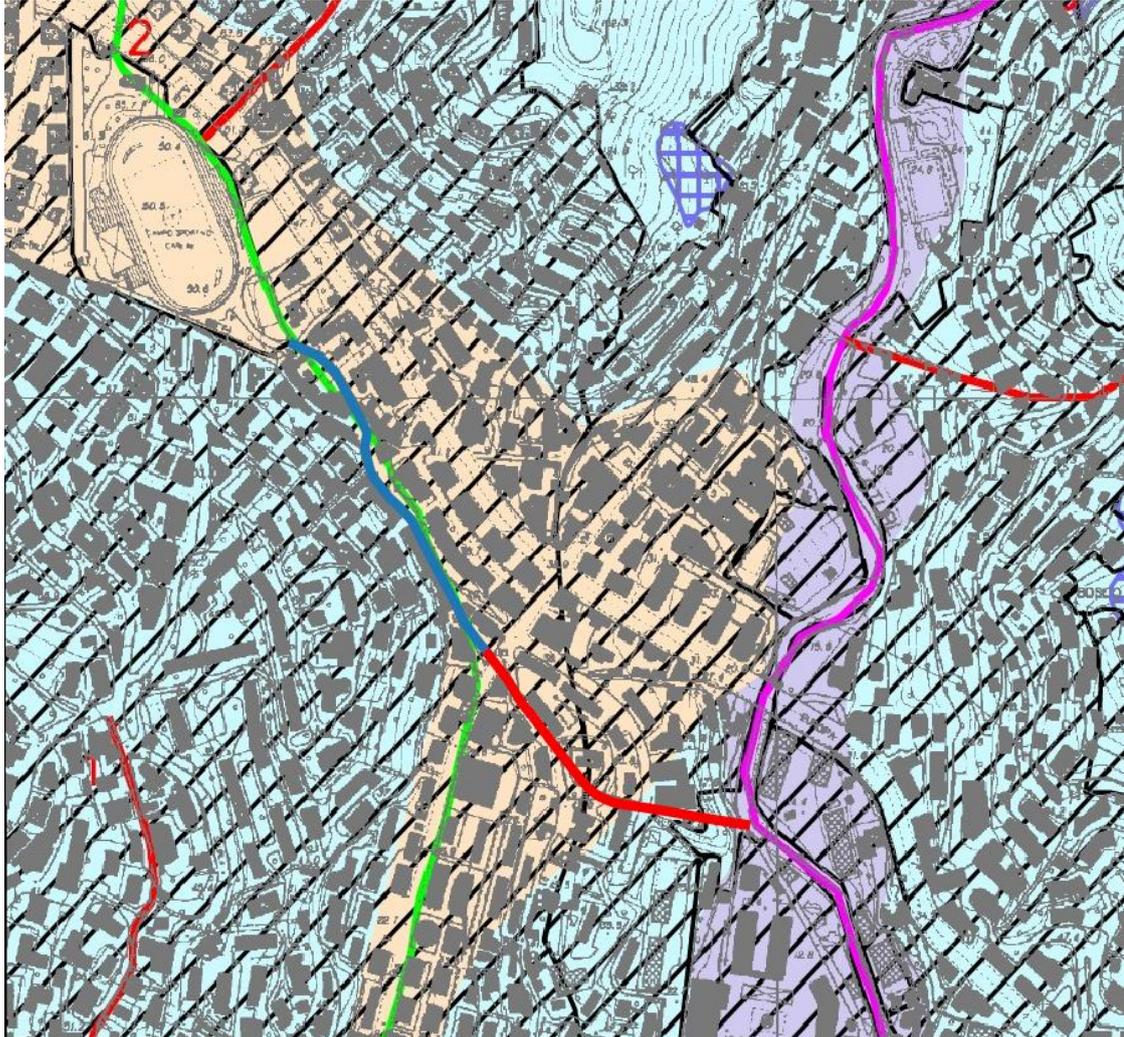


Figura 4.12: Stralcio della Carta idrogeologica in scala 1:10000, del Piano di Bacino Ambito n°14 del Comune di Genova. La parte di alveo tombinata è stata indicata in blu, mentre il tracciato della galleria idraulica è stato riportato in rosso. Immagine non in scala.



Figura 4.13: Legenda dello stralcio riportato in Figura 4.12.

## 5 INDAGINI GEONOSTICHE PREGRESSE

Entro l'area interessata dal presente Progetto Definitivo è stata eseguita una ricerca di tutte le indagini geognostiche pregresse; in particolare sono state individuate le seguenti fonti di dati:

- Indagini geognostiche eseguite nel 1997 per il Progetto Preliminare delle opere di regolarizzazione delle sezioni di deflusso dei tratti del Rio coperto Vernazza-Puggia e del corso d'acqua limitrofo a ponente;
- Indagini geognostiche eseguite nel 2011 per la realizzazione di due edifici residenziali nell'area di Via Bainsizza per conto di ARTE;
- Indagini geognostiche realizzate in campagne varie, catalogate e pubblicate dal sito Ambiente in Liguria a cura della Regione Liguria.
- Indagini eseguite nel 2015 per il Progetto Preliminare di "Adeguamento della canalizzazione del torrente Vernazza con Deviatore nel Torrente Sturla"

L'ubicazione di tali indagini è stata riportata nella Carta geologica allegata al presente Progetto (vedi Tavola T001), mentre le stratigrafie sono state in parte riportate nel Profilo geologico (Tavola 004) e nel Profilo geotecnico (Tavola 005).

Tutte le stratigrafie consultate sono state raggruppate nell'elaborato R003 "Stratigrafie delle indagini geognostiche pregresse".

Nei paragrafi seguenti è stata fornita una descrizione delle diverse campagne di indagine consultate e delle principali risultanze ottenute.

### 5.1 INDAGINI DEL PROGETTO PRELIMINARE DEL 1997

La redazione del primo Progetto Preliminare, eseguita nel 1997, ha previsto la realizzazione di n°4 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo ed attrezzati con piezometro a tubo aperto (vedi Tabella 5.1).

Tabella 5.1. Sintesi delle indagini geognostiche eseguite per la campagna del Progetto Preliminare del 1997. LE: Prova Lefranc; LU: Prova Lugeon.

| Sondaggio | Profondità (m) | Attrezzatura             | Prove in foro | Campioni litoidi | Campioni di depositi | Livello falda misurata (m da p.c.) |
|-----------|----------------|--------------------------|---------------|------------------|----------------------|------------------------------------|
| S1-PP97   | 15             | Piezometro a tubo aperto | 2 LU          | 3                | 2                    | -2,7                               |
| S2-PP97   | 15             | Piezometro a tubo aperto | 1 LE e 2 LU   | 4                | 1                    | -6,3                               |
| S3-PP97   | 28             | Piezometro a tubo aperto | 2 LU          | 3                | 4                    | -9                                 |
| S4-PP97   | 20             | Piezometro a tubo aperto | 2 LU          | 4                | 2                    | -3,5                               |

Tutti i sondaggi eseguiti per la prima versione del Progetto Preliminare hanno raggiunto il substrato roccioso, costituito in prevalenza da calcari marnosi appartenenti alla Formazione

del Monte Antola. La profondità del substrato varia da un minimo di 2,5m (S4-PP97) ad un massimo di 9,7m (S3-PP97).

La copertura del substrato è costituita da tre tipologie di depositi costituiti dall'alto verso il basso stratigrafico da:

- Manto stradale e materiali di riporto di potenza compresa tra 0,6m ed 1,5m;
- Argille di bassa plasticità di potenza pari a 3,8m;
- Ghiaie medie a matrice limoso-sabbiosa di potenza compresa tra 1,2m e 5,9m.

In generale le indagini hanno quindi confermato la presenza di depositi detritici depositi al di sopra di un substrato calcareo, evidenziando inoltre la presenza di depositi grossolani (ghiaie medie) al di sotto delle argille (probabili Argille di Ortovero).

Le misurazioni relative alla superficie piezometrica hanno invece fornito valori di soggiacenza non superiori a -9 m dal p.c.

## 5.2 INDAGINI DEL PROGETTO ARTE

Lo studio geologico a corredo del Progetto per la realizzazione di due edifici residenziali nell'area di Via Bainsizza, situata in corrispondenza della parte di sbocco nel Torrente Sturla della galleria idraulica in progetto, ha previsto la realizzazione di n°5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo in parte attrezzati con piezometro a tubo aperto (vedi Tabella 5.2).

Sono state inoltre eseguite n°3 linee di sismica a rifrazione elaborate in parte con metodologia tomografica (n°2 sezioni) e n°2 stendimenti MASW eseguiti in corrispondenza degli stendimenti SS1 ed SS3.

Tabella 5.2. Sintesi delle indagini geognostiche dirette eseguite per il progetto ARTE. SPT: Prova Standard Penetration Test; CI: Campioni indisturbati; CR: Campioni rimaneggiati.

| Sondaggio | Profondità (m) | Attrezzatura             | Prove in foro | Campioni litoidi | Campioni di depositi | Livello falda misurata (m da p.c.) |
|-----------|----------------|--------------------------|---------------|------------------|----------------------|------------------------------------|
| S1-ARTE   | 6              | Piezometro a tubo aperto | -             | -                | -                    | -                                  |
| S2-ARTE   | 12             | -                        | 2 SPT         | -                | 2 CR                 | -7,3                               |
| S3-ARTE   | 10             | Piezometro a tubo aperto | 1 SPT         | -                | 1 CI                 | -4,2                               |
| S4-ARTE   | 14             | -                        | 3 SPT         | -                | 1 CI e 2 CR          | -5,8                               |
| S5-ARTE   | 10             | -                        | -             | -                | 1 CR                 | -                                  |

Tabella 5.3. Sintesi delle indagini geognostiche indirette eseguite per il progetto ARTE.

| Stendimento | Tipologia       | Lunghezza (m) | Elaborazione |
|-------------|-----------------|---------------|--------------|
| SS1         | Rifrazione+MASW | 22,5          | -            |
| SS2         | Rifrazione      | 22,5          | Tomografica  |
| SS3         | Rifrazione+MASW | 22,5          | Tomografica  |

Le indagini geognostiche eseguite per il Progetto ARTE hanno permesso di individuare la presenza di un importante contatto litologico tra il substrato calcareo della Formazione del Monte Antola e le Argille di Ortovero.

In particolare i sondaggi eseguiti alle quote più elevate (circa 40 m s.l.m.) in corrispondenza della scarpata morfologica (vedi Carta geomorfologica, tavola T002) (sondaggi S1-ARTE, S2-ARTE ed S5-ARTE), hanno raggiunto il substrato litoide costituito da calcari grigi. Tale passaggio si colloca a profondità comprese tra 0,6m e 5,6m dopo aver attraversato dei materiali detritici grossolani costituiti da ghiaie eterometriche sabbioso-limose.

I livelli misurati di soggiacenza della superficie piezometrica sono compresi tra -4,2m e -7,3m dal p.c.

I sondaggi S3-ARTE ed S4-ARTE, posizionati alla quota di circa 30 m s.l.m, alla base della scarpata morfologica visibile nella Carta geomorfologica (Tavola 002), hanno invece intercettato inizialmente delle argille di colore grigio e successivamente i calcari (sondaggio S3-ARTE), oppure solo argille per una potenza di almeno 14m (sondaggio S4-ARTE).

Gli stendimenti sismici hanno evidenziato la presenza di una brusca variazione laterale della velocità sismica delle onde di compressione ( $V_p$ ) in corrispondenza della sezione SS2. In corrispondenza di tale sezione infatti a circa 5m di profondità si osserva un repentino aumento laterale di velocità caratterizzato da valori di circa 1600 m/sec passanti a valori pari a circa 3000 m/sec; tale passaggio è interpretabile come un passaggio tra calcari ed argille (vedi Figura 5.1, Figura 5.2 e Figura 5.3).

Gli stendimenti sismici MASW hanno permesso di calcolare la  $V_{s30}$  in corrispondenza dei due stendimenti; il valore misurato in corrispondenza della sezione MASW1 è pari a 868 m/sec, mentre la sezione MASW2 ha rilevato una  $V_{s30}$  pari a circa 605 m/sec (vedi Figura 5.4 e Figura 5.5).

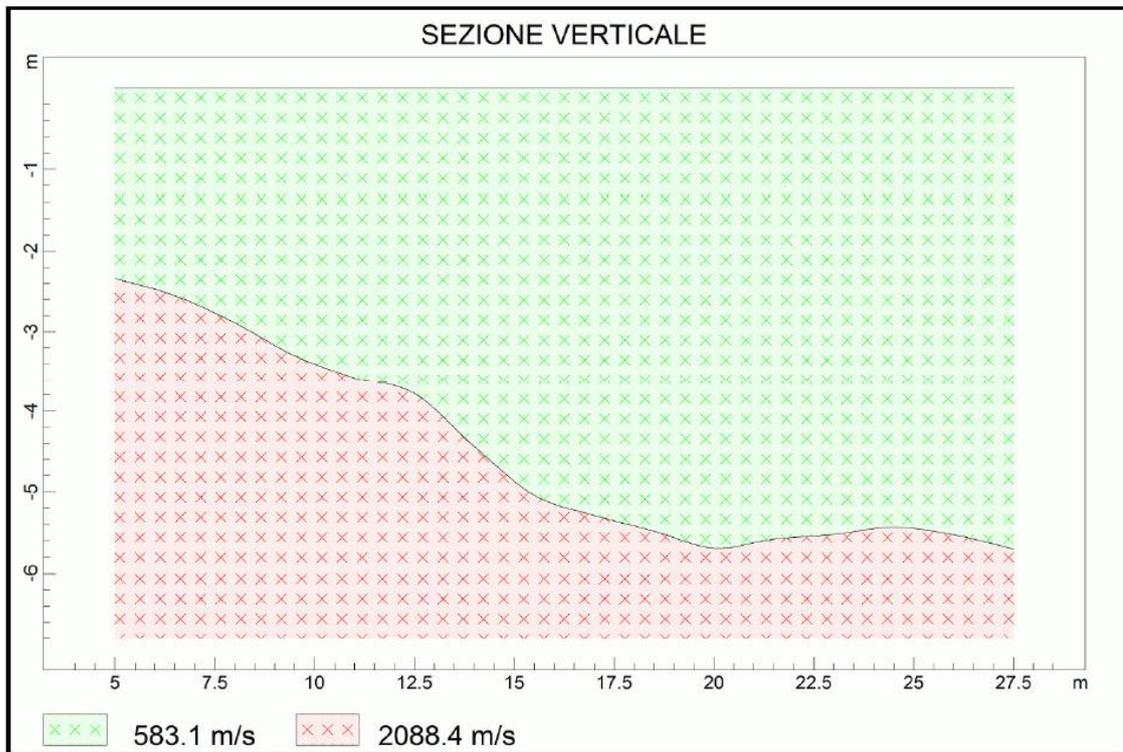


Figura 5.1: Stendimento sismico a rifrazione SS1.

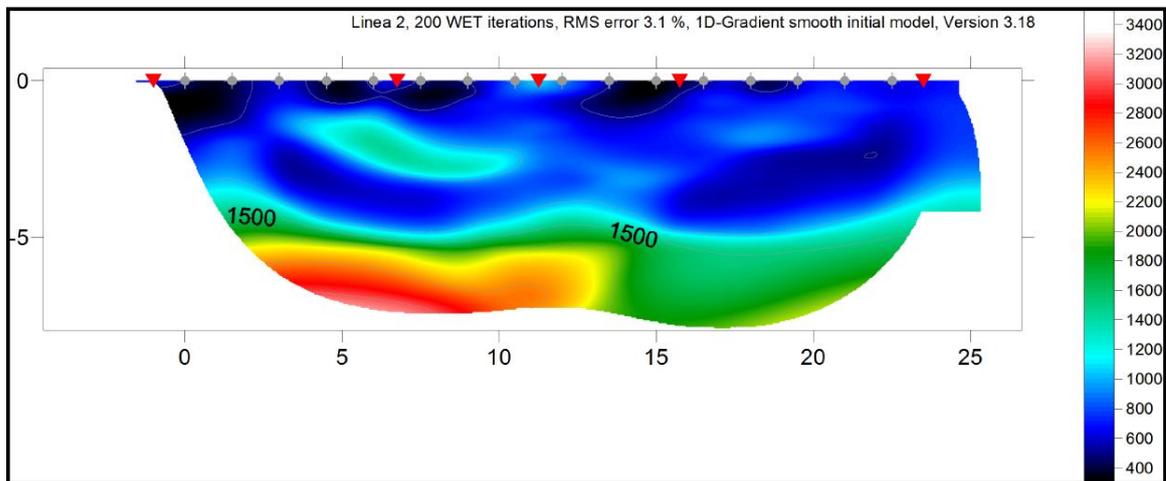


Figura 5.2: Stendimento sismico tomografico a rifrazione SS2.

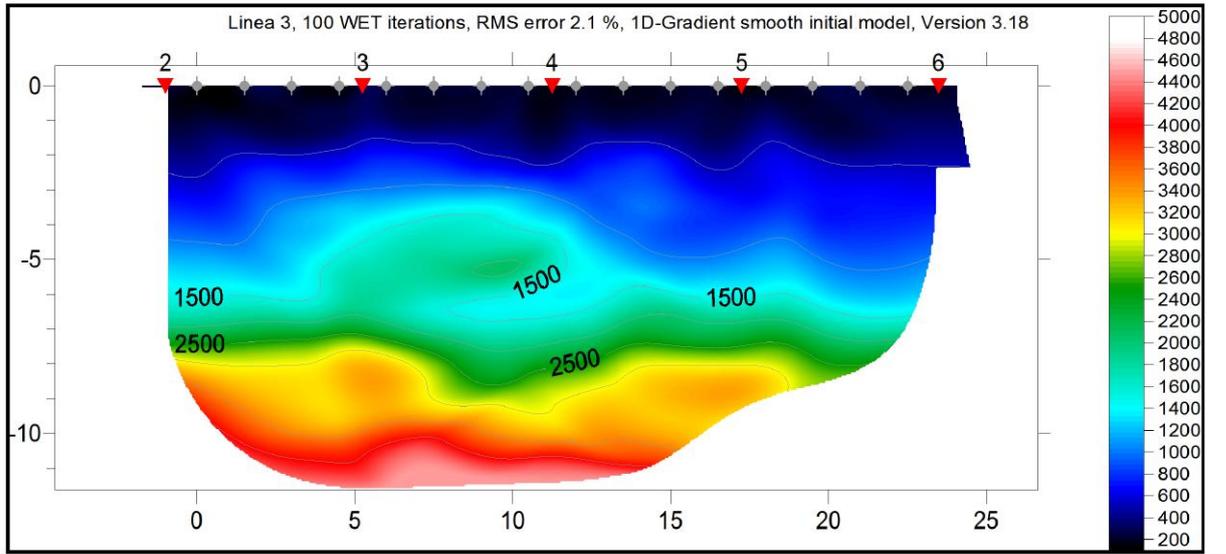


Figura 5.3: Stendimento sismico tomografico a rifrazione SS3.

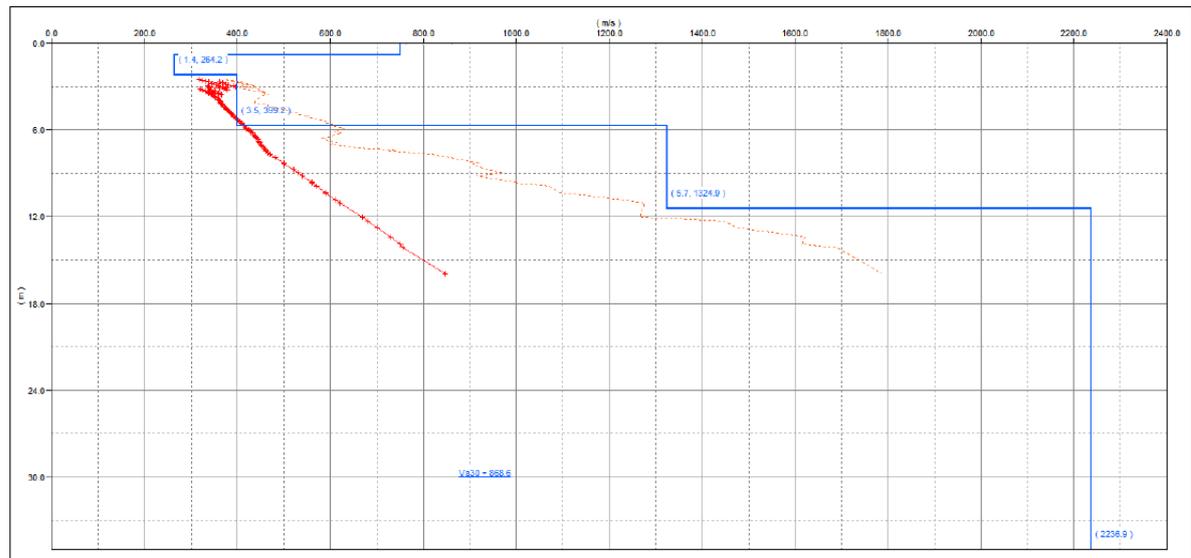


Figura 5.4: Stendimento sismico MASW 1 eseguito presso la linea sismica SS1.

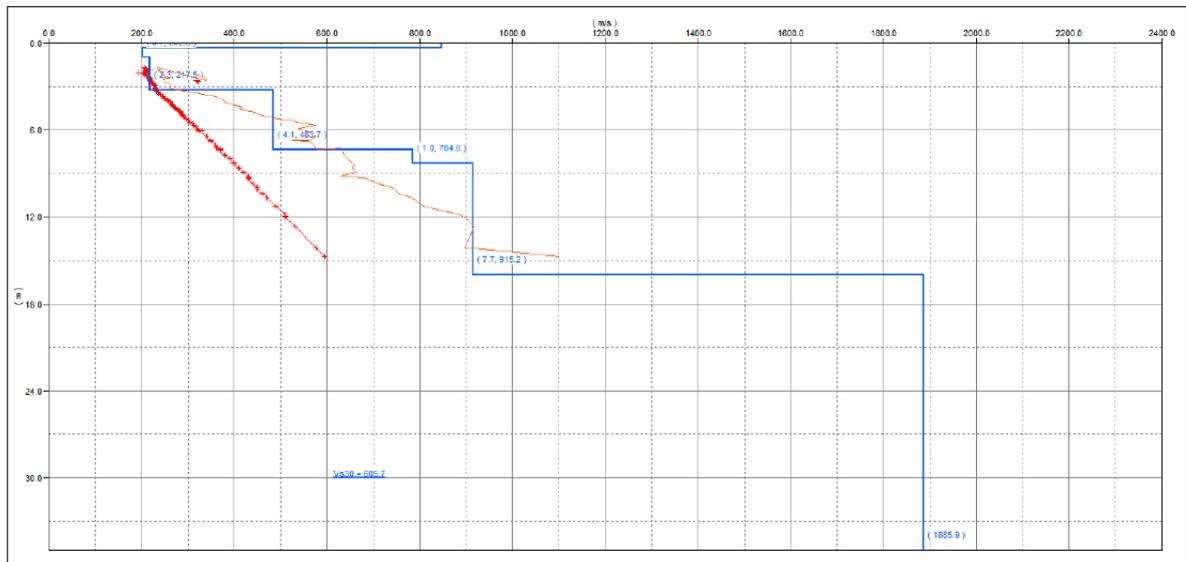


Figura 5.5: Stendimento sismico MASW 2 eseguito presso la linea sismica SS3.

### 5.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE TRATTE DA AMBIENTE LIGURIA

Il portale Ambiente in Liguria, gestito dalla Regione Liguria, ha censito e pubblicato le stratigrafie di diverse indagini geognostiche realizzate entro tutto il territorio regionale. Nel presente elaborato sono state quindi riassunte tutte le indagini presenti nell'area di interesse.

Tabella 5.4. Sintesi delle indagini geognostiche censite da Ambiente in Liguria. SPT: Prova Standard Penetration Test; CI: Campioni indisturbati; CR: Campioni rimaneggiati.

| Sondaggio | Profondità (m) | Attrezzatura | Prove in foro | Campioni litoidi | Campioni di depositi | Livello falda misurata (m da p.c.) |
|-----------|----------------|--------------|---------------|------------------|----------------------|------------------------------------|
| 506       | 10,5           | -            | -             | -                | -                    | -5,5                               |
| 507       | 12             | -            | -             | -                | -                    | -7,5                               |
| 508       | 12             | -            | -             | -                | -                    | -5,7                               |
| 1484      | 12             | -            | -             | -                | -                    | Circa -8                           |
| 1486      | 15             | -            | -             | -                | -                    | Circa -9,5                         |
| 1487      | 16             | -            | -             | -                | -                    | Circa -12,5                        |
| 1488      | 12             | -            | -             | -                | -                    | Circa -10                          |
| 4450      | 1,1            | -            | -             | -                | -                    | -                                  |
| 4451      | 2,2            | -            | -             | -                | -                    | -                                  |
| 4616      | 15             | -            | -             | -                | -                    | -                                  |
| 4617      | 15             | -            | -             | -                | -                    | -                                  |
| 4618      | 15             | -            | -             | -                | -                    | -                                  |
| 4619      | 15             | -            | -             | -                | -                    | -                                  |

Tali sondaggi non sono stati riportati nel Profilo geologico (tavola T004) e nel Profilo geotecnico (tavola T005) in quanto sono caratterizzati da elevato fuori asse e talvolta sono ubicati in corrispondenza dei versanti costituiti dai calcari della Formazione del Monte Antola, quindi lontano dall'area di interesse. Le risultanze di tali indagini sono state tuttavia

considerate per la ricostruzione dell'assetto geologico dell'area e per la conseguente definizione del modello geologico di riferimento.

In generale le indagini eseguite hanno rilevato due contesti geologici ben definiti, rappresentati da:

- versanti collinari impostati nei calcari della Formazione del Monte Antola;
- settore di fondovalle colmato dalle Argille di Ortovero (sondaggi 4616-4619).

Sulla base dei sondaggi 4616-4619 è stato possibile determinare la potenza delle Argille di Ortovero che, in corrispondenza del fondovalle posto presso Corso Europa in corrispondenza dello Stadio Carlini, superano i 15m di profondità dal piano campagna.

I livelli di soggiacenza della superficie piezometrica misurati presso tali indagini sono compresi tra -5,5m e -12,5m dal p.c.

#### 5.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE DEL PROGETTO PRELIMINARE DEL 2015

La realizzazione del Progetto Preliminare di "Adeguamento della canalizzazione del torrente Vernazza con Deviatore nel Torrente Sturla" è stata corredata da una nuova campagna di indagini geognostiche eseguite nel mese di Maggio 2015, in quanto il tracciato delle opere in progetto è variato sensibilmente rispetto ai sondaggi eseguiti nel 1997. Le nuove indagini hanno inoltre consentito di eseguire delle prove in situ e di raccogliere campioni di ammasso roccioso e di terreni utilizzati successivamente per eseguire delle prove di laboratorio.

In dettaglio sono stati realizzati n°3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo e n°2 stendimenti sismici di MASW-2D. L'ubicazione di tali indagini è stata riportata nella Carta geologica allegata al presente Progetto (vedi Tavola T001), mentre le stratigrafie sono state riportate nel Profilo geologico (Tavola 004) e nel Profilo geotecnico (Tavola 005). I certificati delle indagini eseguiti sono inoltre inclusi nell'elaborato R004 "Indagini geognostiche e prove di laboratorio - Campagna di indagine del 2015".

Tabella 5.5. Sintesi delle indagini geognostiche eseguite per il Progetto Preliminare del 2015. SPT: Prova Standard Penetration Test; DL: Prova Dilatometrica; PR: Prova pressiométrica.

| Sondaggio | Profondità (m) | Attrezzatura | Prove in foro | Campioni litoidi | Campioni di depositi | Livello falda misurata (m da p.c.) |
|-----------|----------------|--------------|---------------|------------------|----------------------|------------------------------------|
| S1-PP15   | 25             | -            | 2 DL          | 16               | -                    | -                                  |
| S2-PP15   | 32             | -            | 4 PR e 5 SPT  | -                | 6                    | -                                  |
| S3-PP15   | 15             | -            | 2 DL ed 1 SPT | 9                | 2                    | -                                  |

Tabella 5.6. Sintesi delle indagini geognostiche indirette eseguite per il progetto ARTE.

| Stendimento | Tipologia | Lunghezza (m) | Elaborazione |
|-------------|-----------|---------------|--------------|
| AB          | MASW-2D   | 148           | Tomografica  |
| CD          | MASW-2D   | 120           | Tomografica  |

Le indagini geognostiche eseguite nel mese di Maggio 2015 hanno intercettato il substrato litoide costituito dai calcari marnosi della Formazione dell'Antola nei sondaggi S1-PP15 ed S3-PP15 e le marne argillose appartenenti alle Argille di Ortovero in corrispondenza del sondaggio S2-PP15.

La presenza delle marne argillose rilevate in corrispondenza del sondaggio S2-PP15 ha quindi permesso di ricostruire l'assetto geologico della dorsale attraversata dalla galleria in esame, come definito in seguito nel Capitolo 8.

Le due linee di sismica MASW-2D (vedi elaborato R004) sono state eseguite lungo il tracciato della galleria in progetto (vedi Carta geologica T001) ed hanno permesso di ricavare l'andamento della velocità delle onde sismiche Vs fino ad una profondità di circa 20m a partire dal piano campagna. Sulla base della distribuzione delle onde di taglio Vs è stato quindi possibile ricostruire l'estensione delle marne argillose individuate dal sondaggio S2-PP15, in quanto caratterizzate da velocità significativamente inferiori (Vs tra 300 e 600 m/sec) rispetto ai calcari (Vs circa 800 m/sec) (vedi Figura 5.6 e Figura 5.7).

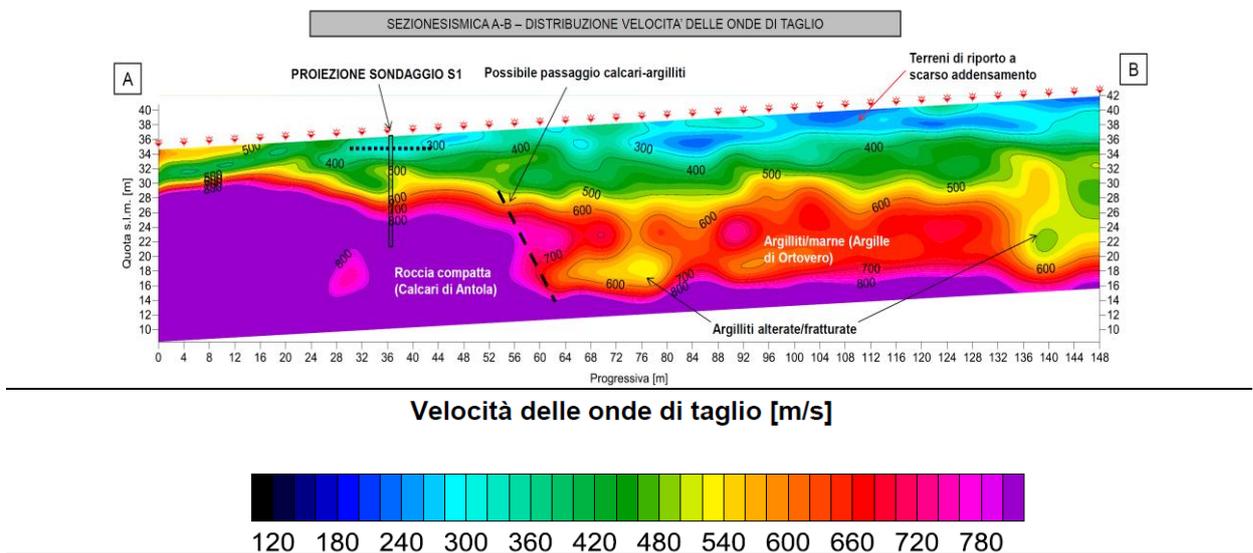


Figura 5.6: Stendimento sismico tomografico MASW-2D, sezione AB.

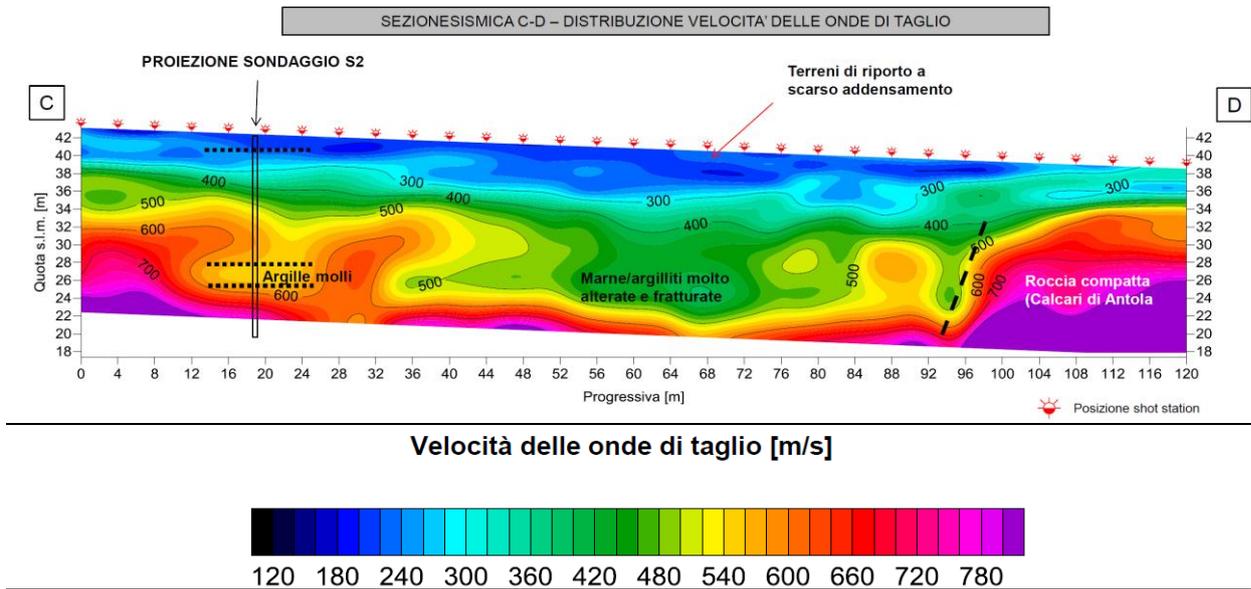


Figura 5.7: Stendimento sismico tomografico MASW-2D, sezione CD.

## 6 INDAGINI GEONOSTICHE DEL PROGETTO DEFINITIVO DEL 2016

La realizzazione del presente Progetto Definitivo di "Adeguamento della canalizzazione del torrente Vernazza con Deviatore nel Torrente Sturla" è stata corredata da una nuova campagna di indagini geonostiche eseguite nei mesi di Aprile-Maggio 2016.

Le nuove indagini, oltre a fornire nuove informazioni sull'assetto geologico dell'area in esame, e nello specifico relativamente al tratto di adeguamento della canalizzazione esistente, hanno consentito di eseguire delle prove in situ e di raccogliere campioni di terreni utilizzati successivamente per l'esecuzione di prove di laboratorio e la conseguente caratterizzazione geotecnica delle unità attraversate.

In dettaglio sono stati realizzati n°4 sondaggi geonostici a carotaggio continuo e n°1 stendimento sismico di MASW-2D. L'ubicazione di tali indagini è stata riportata nella Carta geologica allegata al presente Progetto (vedi Tavola T001), mentre le stratigrafie sono state riportate nel Profilo geologico (Tavola 004) e nel Profilo geotecnico (Tavola 005). I certificati delle indagini eseguiti sono inoltre inclusi nell'elaborato R003 "Indagini geonostiche e prove di laboratorio - Campagne di indagine del 2015 e del 2016".

Tabella 6.1. Sintesi delle indagini geognostiche eseguite per il Progetto Definitivo del 2016. SPT: Prova Standard Penetration Test; PR: Prova pressiométrica.

| Sondaggio | Profondità (m) | Attrezzatura             | Prove in foro | Campioni rimaneggiati | Campioni indisturbati | Livello falda misurata (m da p.c.) |
|-----------|----------------|--------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|
| S1-PD     | 10             | Piezometro a tubo aperto | 3 SPT         | 2                     | -                     | -                                  |
| S2-PD     | 10             | Piezometro a tubo aperto | 2 SPT         | 1                     | -                     | -                                  |
| S3-PD     | 12.2           | -                        | 2 SPT         | 1                     | -                     | -                                  |
| S4-PD     | 30             | Piezometro di Casagrande | 3 PR          | 2                     | 2                     | -                                  |

Tabella 6.2. Sintesi delle indagini geofisiche eseguite per il Progetto Definitivo.

| Stendimento | Tipologia | Lunghezza (m) | Elaborazione |
|-------------|-----------|---------------|--------------|
| AB          | MASW-2D   | 300           | Tomografica  |

Le indagini geognostiche eseguite nei mesi di Aprile-Maggio 2016 hanno intercettato il substrato litoide costituito dai calcari marnosi della Formazione dell'Antola nei sondaggi S2-PD ed S3-PD mentre hanno intercettato le marne argillose appartenenti alle Argille di Ortovero in corrispondenza del sondaggio S4-PD; il sondaggio S1-PD ha intercettato unicamente riporti antropici fino alla profondità di 10 m dal piano campagna.

I sondaggi denominati S2 ÷ S3 PD hanno permesso di definire con maggiore precisione l'assetto geologico del tratto in cui è previsto l'adeguamento della canalizzazione esistente, individuando nella fattispecie la predominanza in questo settore dei calcari marnosi afferenti alla Formazione dell'Antola; il sondaggio S4-PD ha invece confermato l'assetto geologico della dorsale attraversata dalla galleria in esame come definito in sede di Progetto Preliminare del 2015 e illustrato in seguito nel Capitolo 8.

La linea sismica MASW-2D (vedi elaborato R004) è stata eseguita in corrispondenza del settore in cui è previsto l'adeguamento della canalizzazione esistente (vedi Carta geologica T001) ed ha permesso di ricavare l'andamento della velocità delle onde sismiche Vs fino ad una profondità di circa 30m a partire dal piano campagna. Sulla base della distribuzione delle velocità delle onde di taglio Vs è stato quindi possibile ricostruire l'andamento del substrato rigido, caratterizzato da Vs di circa 800 m/sec, riconducibile ai calcari marnosi compatti della Formazione dell'Antola, il quale è risultato approfondirsi verso Nord-Ovest, ovvero verso il sondaggio S1-PD, mentre risulta più superficiale procedendo verso Sud-Est in corrispondenza dei sondaggi S2-S3 PD (vedi Figura 6.1).

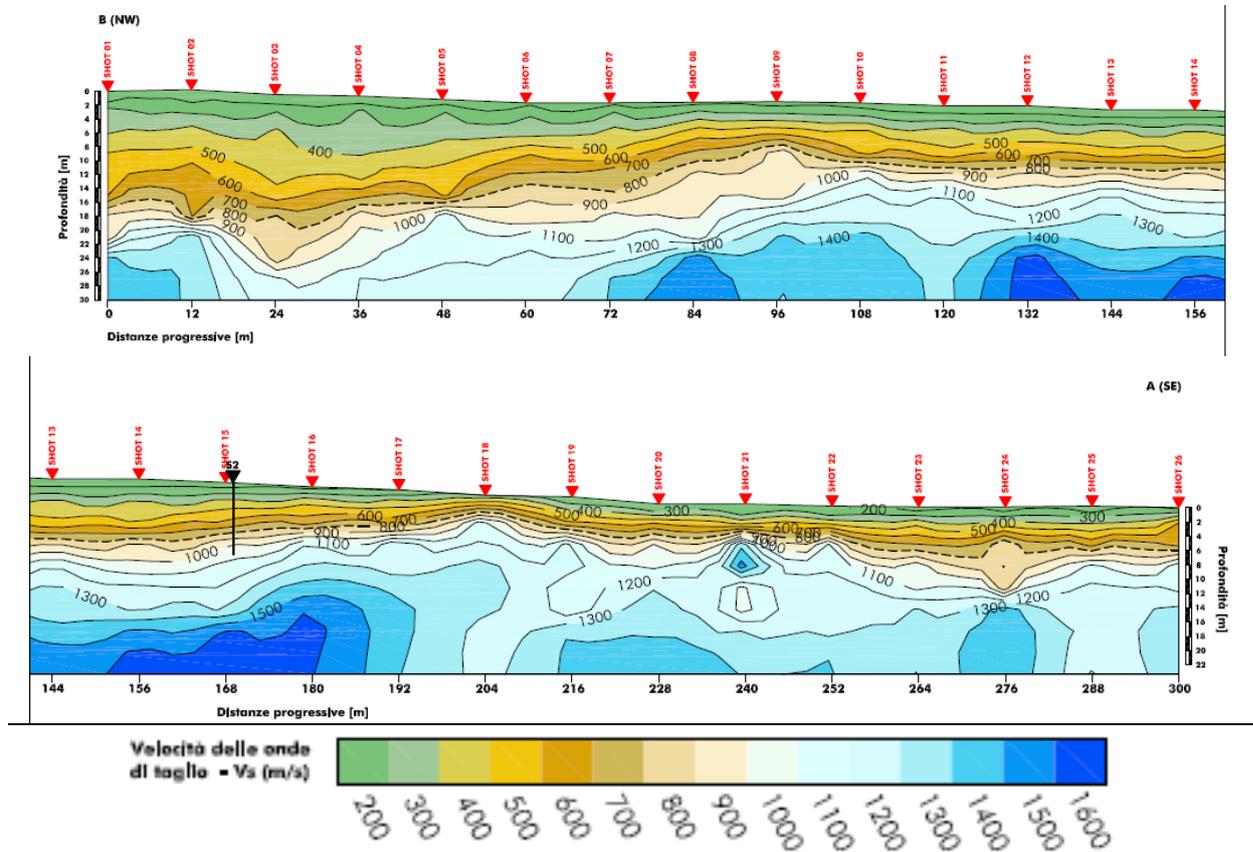


Figura 6.1: Stendimento sismico tomografico MASW-2D, sezione AB del Progetto Definitivo

## 7 ELEMENTI GEOLOGICI, STRUTTURALI GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI LOCALI

In data 12 Maggio 2015, in sede di Progetto Preliminare, è stato eseguito un rilievo di dettaglio dell'area in esame, finalizzato all'individuazione e alla descrizione di tutti i relativi elementi geologici, strutturali, geomorfologici ed idrogeologici presenti.

Le condizioni di elevata antropizzazione dell'area, inserita nel tessuto urbano della città di Genova, hanno fortemente limitato la quantità di informazioni disponibili in quanto gli affioramenti dei litotipi, delle strutture e le forme morfologiche sono stati quasi totalmente obliterati dal rimodellamento antropico operato durante il processo di urbanizzazione.

Nel presente capitolo sono state riportate le principali evidenze prodotte dal presente studio in merito agli argomenti enunciati.

### 7.1 ASSETTO GEOLOGICO

Il rilievo geologico dell'area ha permesso di individuare la presenza di alcuni affioramenti di calcari marnosi afferibili alla Formazione dell'Antola e di depositi alluvionali recenti situati lungo l'alveo del Torrente Sturla.

Gli affioramenti di calcari della Formazione del Monte Antola (FA) sono stati individuati in corrispondenza di Via delle Casette, ove verrà realizzato lo sbocco della galleria idraulica presso il Torrente Sturla (vedi Carta geologica T001). In particolare in tale area è presente una parete subverticale costituita da calcari e calcari marnosi di colore grigio chiaro a stratificazione metrica-plurimetrica materializzata da bancate calcarenitiche di potenza compresa tra 0,5-1m e colorazione giallo oca. Generalmente l'ammasso si presenta compatto, competente e poco alterato (vedi Figura 7.1).



Figura 7.1: Affioramento di calcari marnosi stratificati in corrispondenza di Via delle Casette presso il futuro sbocco della galleria in progetto.

Strutturalmente l'ammasso è caratterizzato da una stratificazione orientata circa  $236^{\circ}/58^{\circ}$  e da un clivaggio di piano assiale pervasivo e spaziato circa 2-3 cm orientato circa a  $352^{\circ}/54^{\circ}$ . Associato al clivaggio è stata inoltre rilevata la presenza di una piega antiforale aperta caratterizzata da angolo tra i fianchi compreso tra  $120^{\circ}$ - $70^{\circ}$ . La cerniera della struttura è arrotondata e l'asse di piega è orientato a circa  $280^{\circ}/38^{\circ}$  (vedi Figura 7.2).

L'intersezione tra le superfici di stratificazione e il clivaggio di piano assiale produce dei prismi allungati di circa 40-50 cm definiti "pencil structures"; tali prismi sono soggetti al distacco e al crollo dalla parete rocciosa (vedi Figura 7.3).



Figura 7.2: Piegatura antiforme entro i calcari marnosi con il relativo clivaggio di piano assiale.

Sempre in corrispondenza di Via delle casette sono stati osservati degli affioramenti minori di calcari e calcari marnosi, localizzati in corrispondenza del letto del Torrente Sturla e della base del muro di controripa posto sul lato di monte di Via delle Casette in prossimità della zona di sbocco della galleria in progetto.



Figura 7.3: Evidenza delle pencil structures materializzate dall'intersezione tra la superficie di stratificazione e di clivaggio di piano assiale.

Entro l'alveo del Torrente Sturla sono state inoltre osservate delle piccole scarpate impostate entro i depositi alluvionali recenti (ALr) costituite da depositi alluvionali grossolani caratterizzati dalla presenza di ciottoli e ghiaie eterometriche e poligeniche immerse in matrice fine sabbioso siltosa. La struttura del deposito si presenta grossolanamente stratificata e "clast supported" (vedi Figura 7.4).



Figura 7.4: Affioramenti di depositi alluvionali recenti (ALr) impostati vicino al viadotto di Corso Europa.

## 7.2 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Il rilievo geomorfologico eseguito, seppur limitato dalla forte urbanizzazione dell'area, ha permesso di escludere la presenza di fenomeni di dissesto gravitativo.

L'assetto geomorfologico dell'area in esame è stato desunto principalmente dall'analisi del modello digitale del terreno con passo 5m x 5m acquisito dal sito Ambiente in Liguria. Analizzando l'immagine riportata in Figura 7.5 si può osservare che l'area si colloca in un settore costiero posto alla base di una rottura di pendenza importante collocata al piede dei rilievi montuosi retrostanti l'abitato di Genova; tale rottura di pendenza è orientata circa WNW-ESE.

Il settore costiero si presenta fortemente inciso da solchi vallivi orientati circa NNE-SSW; tali solchi sono stati prodotti dall'azione erosiva dei corsi d'acqua locali.

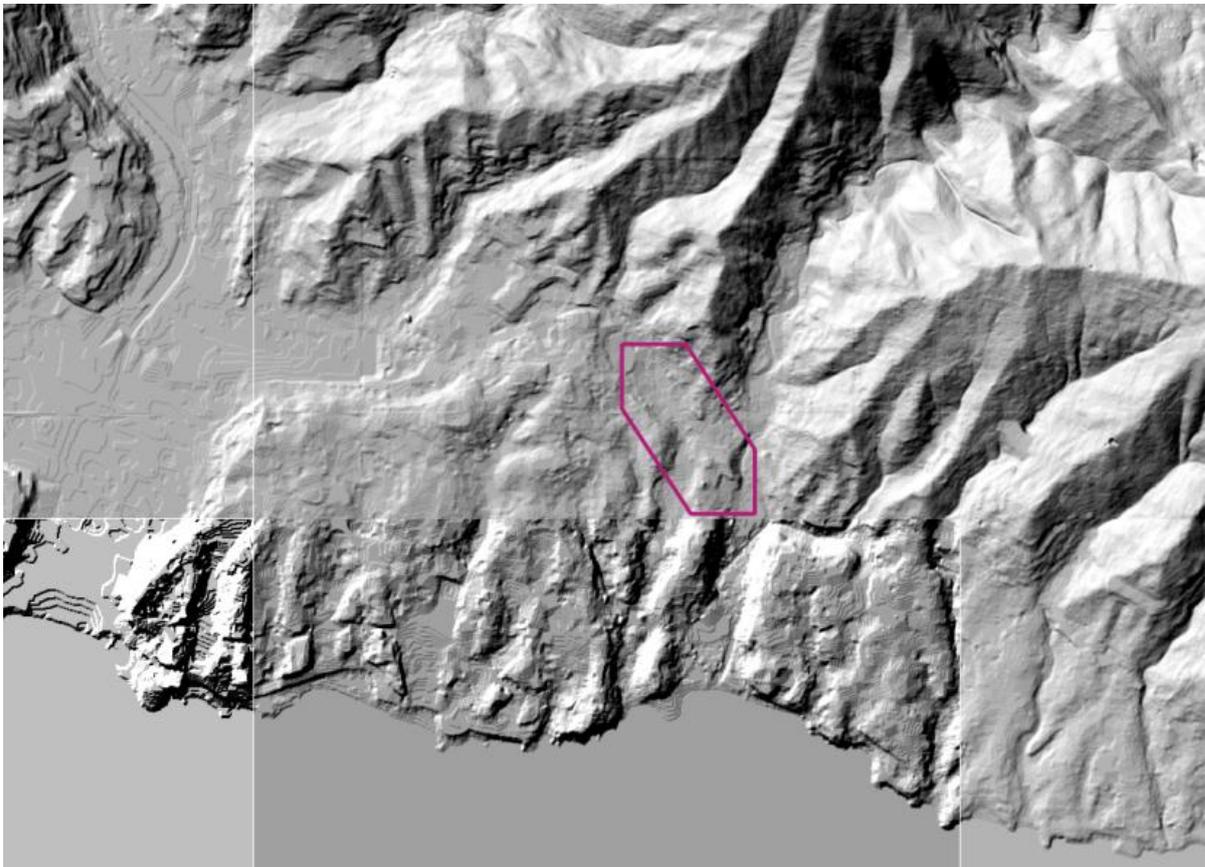


Figura 7.5: Modello digitale del terreno della porzione orientale del centro urbano di Genova. L'area in esame è stata indicata dal perimetro di colore viola. Immagine non in scala.

Analizzando in dettaglio le viste riportate in Figura 7.6 e Figura 7.7 si può osservare che la dorsale entro cui verrà realizzata la galleria in progetto è caratterizzata da direzione NNE-SSW ed è bordata verso Est dall'incisione prodotta dal Torrente Sturla, mentre verso Ovest è bordata dall'incisione prodotta dal Rio Chiappeto.

L'alveo del Rio Chiappeto, oggetto del presente intervento, nel tratto a monte di Via Isonzo si presenta orientato circa NNW-SSE ed è impostato entro l'incisione valliva parallela a Corso Europa. Tale incisione presenta un'orientazione parallela alla rottura di pendenza esistente tra il settore costiero ed il retrostante settore montuoso e potrebbe essere stata prodotta da strutture tettoniche fragili sviluppate nel terziario.

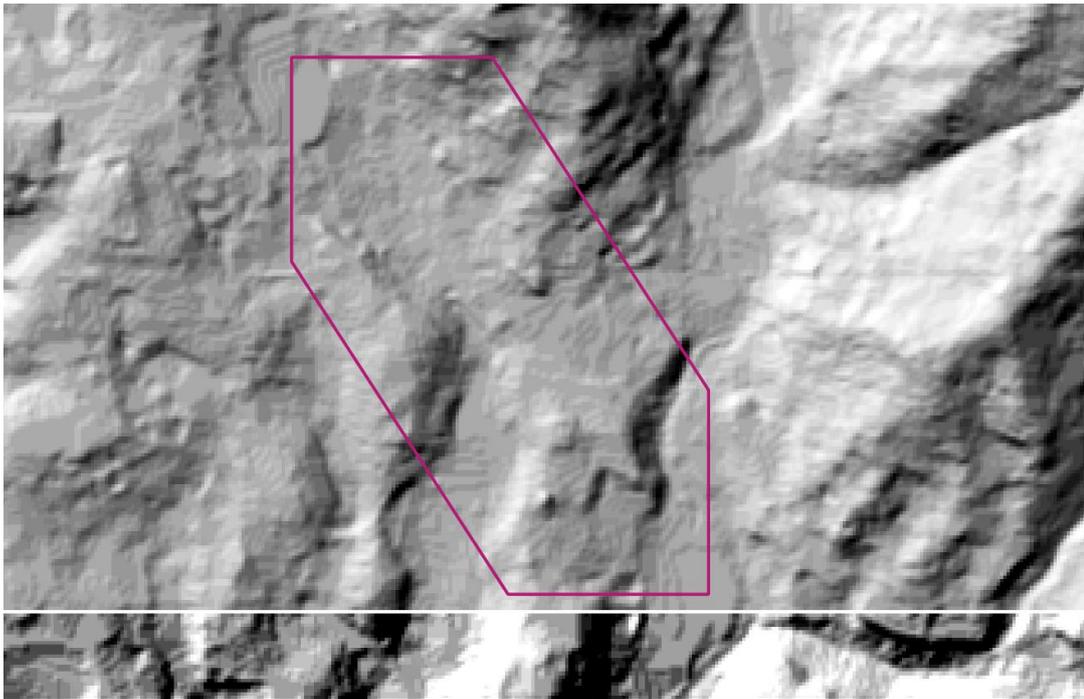


Figura 7.6: Modello digitale del terreno dell'area in esame, (indicata dal perimetro di colore viola). Immagine non in scala.

Come si può quindi osservare dall'immagine riportata in Figura 7.7 le opere in progetto interessano inizialmente l'alveo a direzione NNW-SSE del Rio Chiappeto (tratto tombinato), mentre in seguito la galleria idraulica attraverserà la dorsale calcarea caratterizzata da direzione NNE-SSW. In corrispondenza dello sbocco in prossimità del Torrente Sturla sono inoltre visibili due scarpate rettilinee ed ortogonali orientate circa WNW-ESE (parallela al tracciato) e un'altra orientata NNE-SSW (perpendicolare al tracciato), la cui origine è attualmente incerta (vedi riquadro giallo in Figura 7.7).

In corrispondenza dello sbocco nel Torrente Sturla è inoltre presente un'estesa scarpata arcuata (concavità rivolta verso Est), prodotta dall'azione erosiva del corso d'acqua ed impostata entro i calcari marnosi della Formazione dell'Antola.

In ultimo lungo la dorsale attraversata dalla galleria si può apprezzare la presenza, localizzata in corrispondenza del limite meridionale dell'area studiata, di una blanda rottura di pendenza con un successivo aumento di quota della sommità della dorsale stessa. Tale evidenza permette di ricostruire la presenza di una sella ubicata in corrispondenza del settore di interesse per il presente progetto.

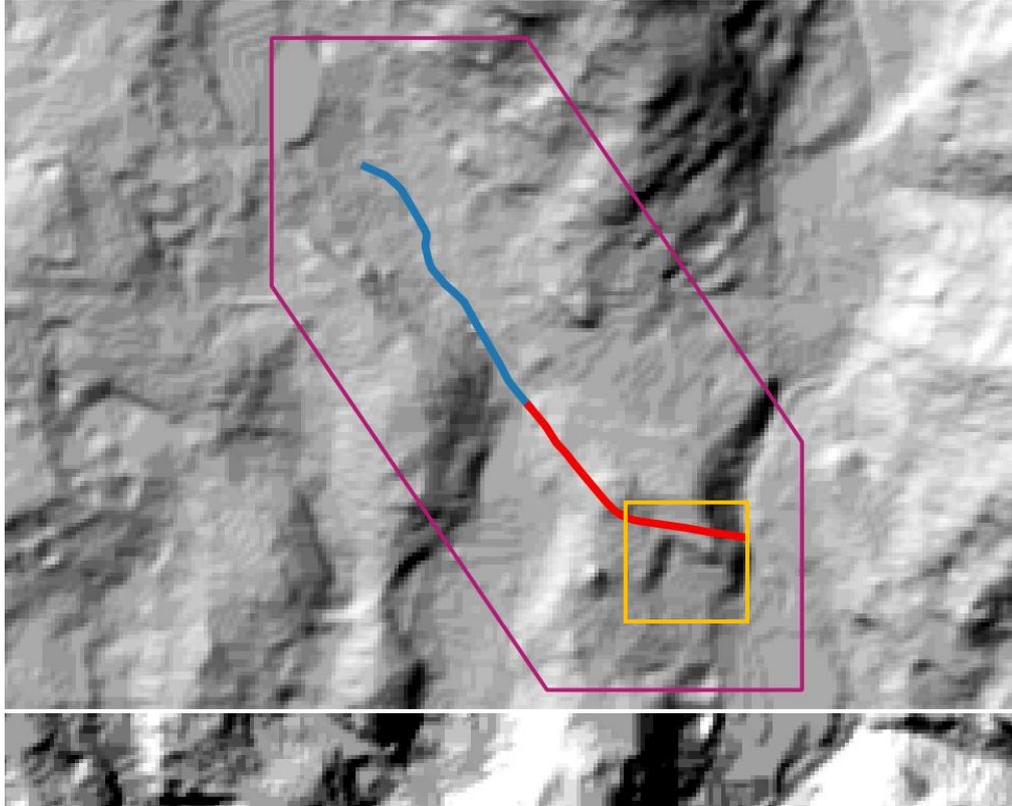


Figura 7.7: Modello digitale del terreno dell'area in esame (indicata dal perimetro di colore viola). La parte di alveo tombinata è stata indicata in blu, mentre il tracciato della galleria idraulica è stato riportato in rosso. Il riquadro giallo indica le scarpate descritte nel testo. Immagine non in scala.

### 7.3 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il rilievo eseguito non ha evidenziato la presenza di emergenze idriche, né di opere di captazione superficiali; come già riportato nel paragrafo 4.3 sulla base dei documenti reperiti non è stata inoltre rilevata la presenza di opere di captazione sotterranea (pozzi).

In corrispondenza degli affioramenti di substrato roccioso osservati non è stata evidenziata la presenza di venute d'acqua. Il grado di fratturazione e la composizione carbonatica (calcari e calcari marnosi) della Formazione del Monte Antola può favorire lo sviluppo di fenomeni carsici entro tale ammasso roccioso con un conseguente aumento localizzato della permeabilità.

## 8 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Il modello geologico di riferimento è stato elaborato considerando tutti i dati geologici di superficie rilevati e i dati geognostici di sottosuolo ricavati dalle diverse campagne di indagine eseguite.

La rappresentazione grafica del modello geologico è stata restituita mediante la Carta geologica (Tavola T001), la Carta geomorfologica (Tavola T002) ed il Profilo geologico

longitudinale realizzato lungo l'asse dell'opera in progetto (Tavola T004). Il modello geologico di riferimento ha conseguentemente influenzato il modello geotecnico rappresentato dal Profilo geotecnico (Tavola T005).

In dettaglio il modello geologico elaborato affronta e descrive principalmente la distribuzione delle marne argillose e/o argille afferenti all'unità delle Argille di Ortovero (OR), in quanto esse costituiscono una litologia potenzialmente critica per lo scavo e la realizzazione della galleria idraulica in progetto; secondariamente sono state individuate le caratteristiche e la distribuzione delle alluvioni recenti e dei riporti antropici, prevalenti nel settore di realizzazione del tratto tombinato.

## 8.1 MODELLO GEOLOGICO DEL SUBSTRATO PRE-QUATERNARIO

L'unità delle Argille di Ortovero borda il lato E della incisione valliva (a direzione NW-SE) disposta parallelamente a Corso Europa a partire dallo stadio Carlini e, proseguendo verso SE in prossimità di Via Isonzo, si divide in due rami:

- Il primo si sviluppa in direzione Est-Ovest proseguendo verso Est ed interessando ulteriormente Corso Europa almeno fino all'alveo del Torrente Sturla;
- Il secondo prosegue invece in direzione NW-SE spingendosi ulteriormente verso SE ed attraversando obliquamente la dorsale rocciosa impostata nei calcari della Formazione del Monte Antola.

La presenza delle Argille di Ortovero (OR) in corrispondenza della dorsale attraversata dalla galleria idraulica è stata accertata mediante i sondaggi S2-PP15 (32m interamente impostati in argille) e S4-PD (30m interamente in argille) ed è stata inoltre confermata dalle linee MASW2D AB e CD del Progetto Preliminare del 2015. La presenza di argille è stata inoltre osservata in corrispondenza dei sondaggi S4-ARTE (potenza >14m), S3-ARTE (potenza di 5,9m) ed S3-PP97 (potenza di 3,8m), mentre le restanti indagini hanno individuato la presenza di calcari e calcari marnosi della Formazione del Monte Antola (FA) e di depositi alluvionali antichi (ALa) e recenti (ALr).

La disposizione delle Argille di Ortovero, ed i rapporti stratigrafici con la Formazione del Monte Antola suggeriscono la presenza di una stretta e profonda incisione orientata circa NNW-SSE e colmata dalle Argille di Ortovero. Il passaggio laterale tra le Argille di Ortovero ed i calcari della Formazione del Monte Antola è stato individuato dalla sismica MASW-2D e si presenta netto con un conseguente brusco aumento di velocità delle onde di taglio Vs (vedi Figura 5.6 e Figura 5.7.)

Tale evidenza è stata parzialmente confermata dalla sezione sismica tomografica a rifrazione SS2, realizzata per la campagna di indagini geognostiche ARTE (vedi Figura 5.2).

I dati geofisici sono stati quindi interpretati presupponendo l'esistenza di un modesto "graben" di origine tettonica bordato da due faglie coniugate a direzione NNW-SSE ed immersione opposta. La prosecuzione di tali strutture verso NW (indicativamente verso lo stadio Carlini) giace all'interno dell'incisione parallela a Corso Europa (incisione entro la quale i sondaggi 4616-4619 hanno rilevato la presenza di argille per potenze superiori a 15m), mentre verso SE la loro prosecuzione non è stata interpretata oltre l'alveo del Torrente

Sturla. Tali strutture tettoniche sono state interpretate entro un quadro strutturale più complesso ed ampio legato al modellamento dell'attuale linea di costa della riviera di levante ligure tra la città di Genova ed il promontorio di Portofino (vedi Figura 8.1 ed Figura 8.2).

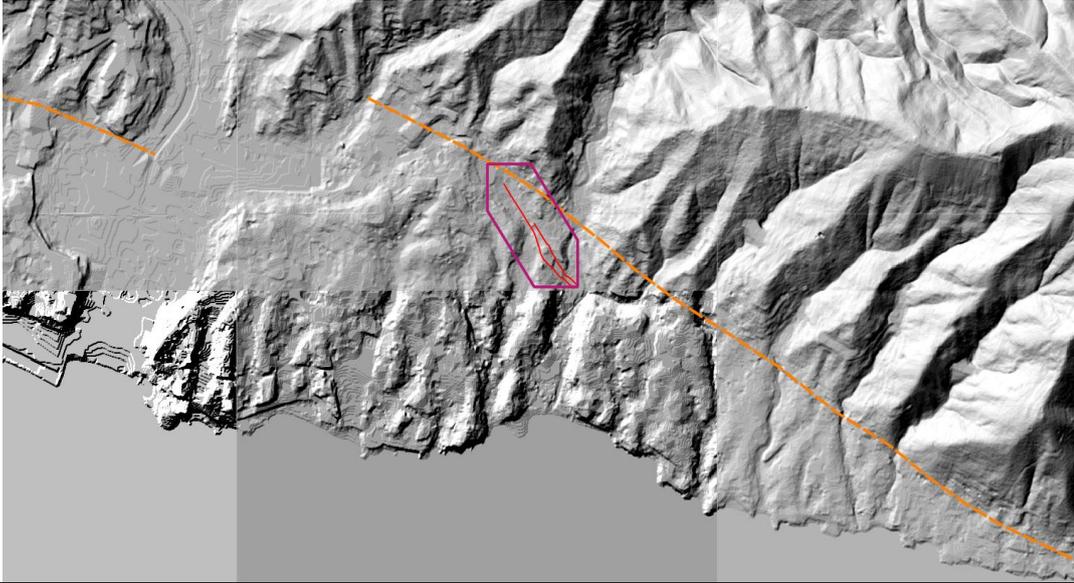


Figura 8.1: Modello digitale del terreno dell'area in esame (indicata dal perimetro di colore viola) con riportate le strutture tettoniche descritte nel testo. In rosso sono state riportate le faglie individuate dal presente studio, mentre in arancio sono state riportate le lineazioni principali attribuite alla tettonica recente sviluppata nell'area. Immagine non in scala.

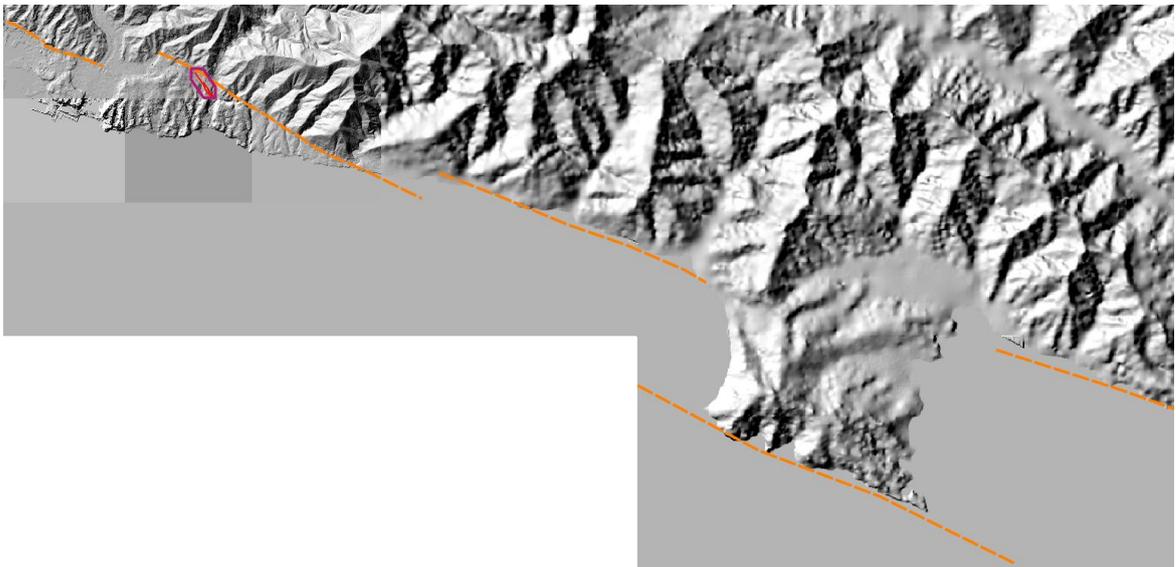


Figura 8.2: Vista estesa del modello digitale del terreno dell'area in esame (indicata dal perimetro di colore viola) con riportate le strutture tettoniche descritte nel testo. In rosso sono state riportate le faglie individuate dal presente studio, mentre in arancio sono state riportate le lineazioni principali attribuite alla tettonica recente sviluppata nell'area. Immagine non in scala.

In particolare esse si inseriscono entro un sistema di faglie regionali a direzione circa NW-SE la cui espressione morfologica è particolarmente evidente nei seguenti contesti:

- in corrispondenza della rottura di pendenza che separa il settore costiero dal settore montuoso collocato alle spalle della Città di Genova;
- della linea di costa netta evidenziata lungo la riviera di levante;
- della linea di costa netta evidenziata in corrispondenza del promontorio di Portofino.

L'incisione tettonica colmata dalle Argille di Ortovero potrebbe essere stata accentuata dall'azione erosiva operata dal Rio Chiappeto, in concomitanza di una paleo-direzione di deflusso orientata in direzione NW-SE (vedi Carta geomorfologica di progetto, Tavola T002); tale paleo-direzione di deflusso avrebbe originariamente consentito l'immissione delle acque direttamente entro il Torrente Sturla. Tale ipotesi è suffragata dalla presenza di una sella ubicata sulla sommità della dorsale interessata dalla realizzazione della galleria idraulica.

Sulla base delle considerazioni esposte sono stati quindi prodotti i relativi elaborati cartografici. La Carta geologica di progetto (Tavola T001) evidenzia quindi la presenza di versanti costituiti dai calcari della Formazione del Monte Antola; tale formazione costituisce anche le dorsali a direzione NNE-SSW modellate dai processi di erosione fluviale del Rio Chiappeto e dal Torrente Sturla.

Al di sopra di tale substrato roccioso di età cretacea si sono successivamente depositi in discordanza dei depositi detritici grossolani costituiti da ghiaie medie con matrice sabbiosa di età antecedente il Pliocene in quanto essi sono stati successivamente ricoperti dalle Argille di Ortovero caratterizzate da età pliocenica. La distribuzione di tali depositi, individuati con certezza dal sondaggio SE-PP97, è probabilmente discontinua in quanto non è stata determinata con certezza presso le altre indagini geognostiche realizzate. Conseguentemente tale litotipo non è stato rappresentato in Carta geologica, in quanto esso risulta sepolto dalle Argille di Ortovero, né nei profili geologico e geotecnico in quanto non intercettato dall'asse delle opere.

I depositi grossolani pre-pliocenici sono stati successivamente sepolti dalla sedimentazione marina che ha prodotto le Argille di Ortovero (OR), unità che come descritto precedentemente riveste una particolare importanza per il progetto ed è caratterizzata da ampia diffusione areale.

Le Argille di Ortovero sono state successivamente ricoperte a luoghi da depositi alluvionali di età diverse classificati e distinti come segue:

- i lembi dissezionati, preservati dall'erosione ed attualmente visibili sulle parti sommitali dei terrazzi sono stati definiti come depositi alluvionali antichi (ALa) e sono localizzati presso lo sbocco della galleria idraulica;
- i depositi alluvionali disposti presso i fondovalle delle incisioni vallive prodotte dal Rio Chiappeto e dal Torrente Sturla e parzialmente reincisi dai corsi d'acqua sono stati definiti come depositi alluvionali recenti (ALr);
- i depositi disposti nell'attuale greto del Torrente Sturla sono stati definiti come depositi alluvionali attuali (AL).

## 8.2 MODELLO GEOLOGICO DEI DEPOSITI QUATERNARI E DEI RIPORTI

Data l'elevata antropizzazione dell'area e la conseguente oggettiva difficoltà nel definire il contesto geomorfologico locale, soprattutto in corrispondenza di Via Pontetti e dei settori limitrofi, è stata effettuata una ricerca bibliografica su cartografie antiche, individuando la "Carta di Genova e de suoi dintorni" realizzata in data 1815-1816 e così definita dall'Istituto Geografico Militare "Carta in 12 fogli, minute di rilevamenti eseguite dagli Ingegneri topografi sotto gli ordini del Conte di Saluzzo Magg. Di Stato Maggiore Generale come da nota firmata dall'ing. Topografo Pellegrini" nella quale è riportato con chiarezza l'assetto idrografico e geomorfologico originale di questo settore della città di Genova.

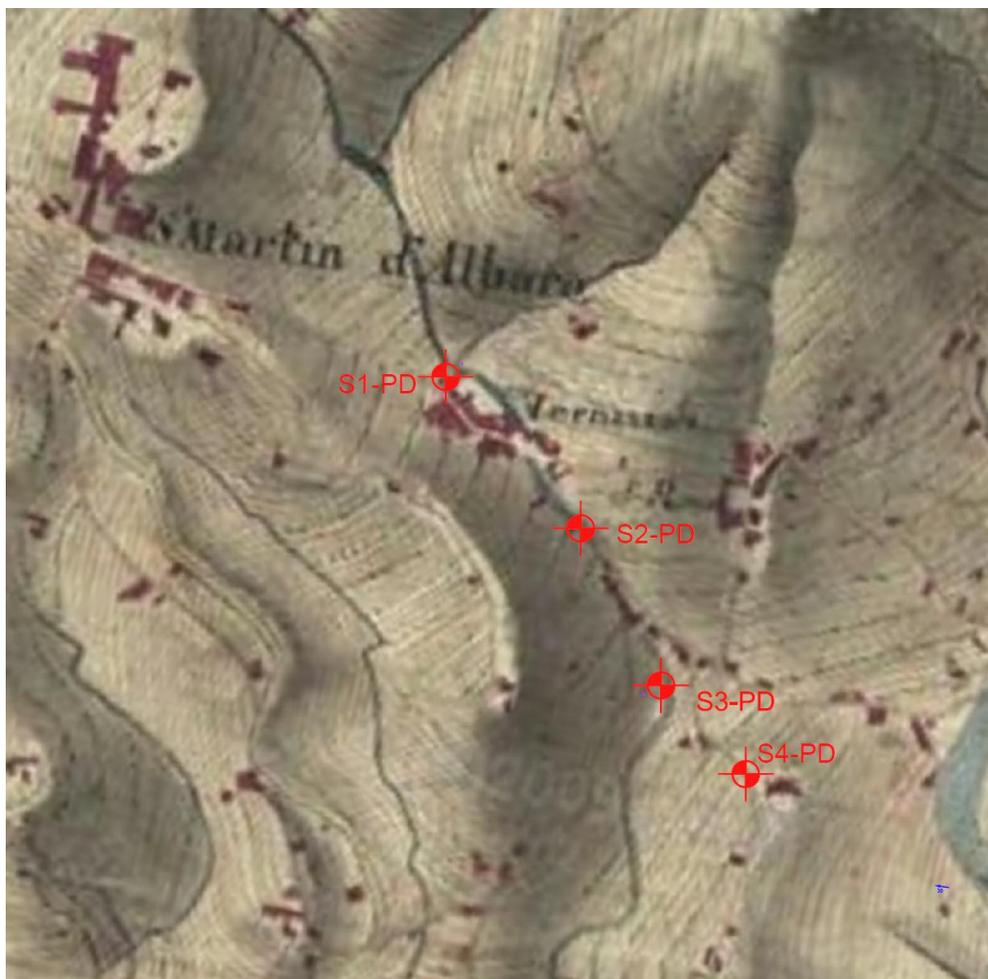


Figura 8.3: "Carta di Genova e de suoi dintorni" (1815-1816) con riportata l'ubicazione dei sondaggi realizzati in sede di Progetto Definitivo

Sulla base della morfologia riportata da questa carta è stato possibile riconoscere come in corrispondenza del settore occupato dallo Stadio Carlini sia stato realizzato nel 1912 (anno di costruzione dell'impianto sportivo) un ingente rilevato che ha permesso di creare in corrispondenza di una vallecola posta poco sotto la Limitrofa chiesa di San Martino un vasto

settore pianeggiante, in Figura 8.4 è riportato un confronto tra l'aspetto originario e l'aspetto attuale del luogo.

I riporti utilizzati per realizzare questo ripiano sono stati intercettati dal sondaggio S1-PD, posto in corrispondenza del limite settentrionale del tracciato, che li ha attraversati per tutta la sua lunghezza di perforazione, corrispondente a 10 m. Le altre indagini geofisiche e geognostiche realizzate in questo settore hanno permesso di definire i limiti di questo rilevato e di definire gli spessori dei riporti in corrispondenza del canale esistente, che sono risultati essere generalmente molto limitati.

Gli altri principali lembi di riporti di origine antropica (R) presenti entro l'area in esame occupano le posizioni retrostanti le opere di sostegno di versante realizzate presso Via Isonzo e presso la Scuola Elementare Agostino Giustiniani e sono inoltre ubicati al di sopra del canale esistente.

Sulla base dell'analisi del contesto geomorfologico locale e della cartografia storica integrata anche tramite la consultazione di immagini satellitari e tramite i diversi sopralluoghi effettuati in sito, l'area di Via Pontetti è risulta quindi inserita in un fondovalle alluvionale recente derivante dalla attività erosionale-deposizionale dei Rii Chiappeto e Vernazza. Il tracciato dei due rii, attualmente tombinati, corrisponde alle vie Pontetti e Isonzo.

Grazie al contesto geomorfologico originario così definito, che ha permesso di attribuire il settore di realizzazione delle due vie Pontetti e Isonzo ad un originario fondovalle alluvionale, e grazie alle risultanze dei due sondaggi del Progetto preliminare denominati S1-PP97 ed S2-PP97, che hanno intercettato degli spessori anche superiori ai 5 m di depositi alluvionali recenti, si è potuta ricostruire l'estensione areale di questi depositi che bordano con limitata estensione e spessore il canale esistente e che occupano con spessori maggiori Via Isonzo.

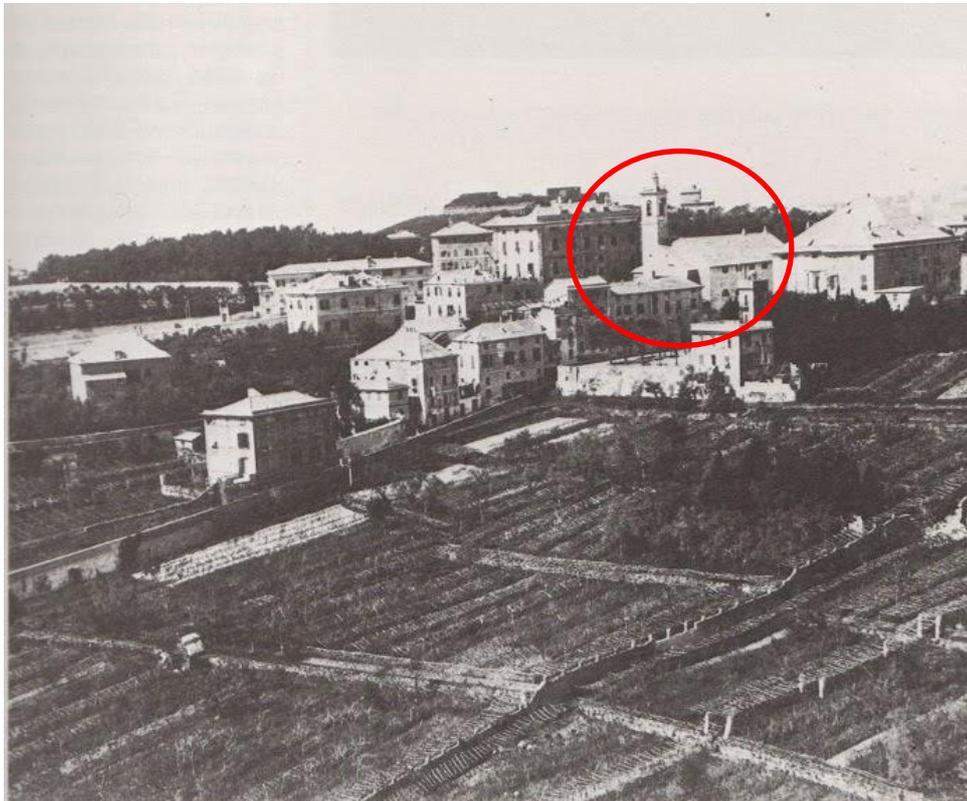


Figura 8.4: Aspetto ad inizio del secolo scorso del settore di realizzazione dello stadio ed aspetto attuale, nel cerchio rosso è indicata la ubicazione della Chiesa di San Martino da utilizzare come riferimento

### 8.3 MODELLO GEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO

Il Profilo geologico di progetto (Tavola 004) riporta la suddivisione dei litotipi lungo le opere da realizzare. In particolare a partire dalla Pk 0+000 la realizzazione del tratto tombinato da realizzare mediante uno scavo di allargo dell'attuale tombino esistente verrà impostato entro i riporti antropici (R), ed i sottostanti calcari dell'Antola (FA). Al di sopra del tombino esistente è presente una fascia continua di riporto derivante dalla sua realizzazione.

Successivamente l'opera di imbocco della galleria idraulica, posizionata presso la Pk 0+357,87 e realizzata mediante un pozzo, sarà realizzata in un contesto di litologie miste in quanto verranno interessati principalmente i riporti antropici ed i calcari dell'Antola (FA).

A partire dalla Pk 0+362m la galleria interesserà esclusivamente i calcari della Formazione dell'Antola (FA) fino alla Pk 0+432m quando verrà intercettata la prima faglia che separa tali calcari dalle Argille di Ortovero (OR). A partire dalla prima faglia e proseguendo fino alla seconda, posta alla Pk 0+569m, la galleria intercetterà esclusivamente le Argille di Ortovero per circa 137m, mentre successivamente fino allo sbocco presso il Torrente Sturla essa verrà realizzata entro i calcari della Formazione del Monte Antola (FA).

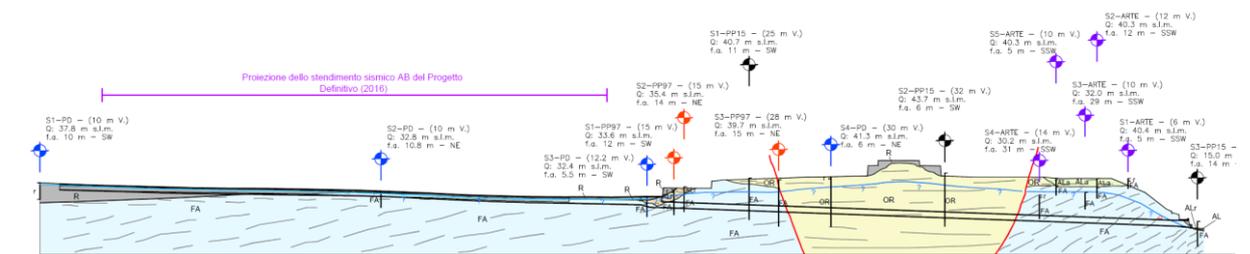


Figura 8.5: Profilo geologico longitudinale realizzato in corrispondenza dell'asse delle opere in progetto. Immagine non in scala.

### 9 ANALISI GEOLOGICO TECNICA DEL TRACCIATO

Il presente Capitolo analizza e descrive le possibili interazioni esistenti tra le opere in progetto ed i litotipi presenti nell'area. Le opere in progetto possono essere suddivise in due categorie principali:

- Parte 1 - Allargio del tombino esistente entro cui è contenuto il Rio Chiappeto-Vernazza;
- Parte 2 - Realizzazione della galleria idraulica per deviare il Rio Vernazza entro il Torrente Sturla.

La prima parte dell'intervento in progetto si sviluppa per circa 363m di lunghezza a partire dalla Pk 0-529 fino alla Pk 0+357,75 m e comporterà la realizzazione di uno scavo di allargo del tombino esistente presidiato da due paratie di micropali predisposte lungo entrambe le sponde. Lo scavo di allargo della tombinatura del Rio Chiappeto interesserà i riporti antropici

(R) ed i sottostanti calcari dell'Antola (FA). Considerando le litologie presenti si possono sviluppare:

- instabilità gravitative localizzate in corrispondenza dei riporti antropici (R);
- problemi di instabilità delle paratie causate da una ridotta capacità portante fornita dai depositi alluvionali recenti e dai riporti.

La seconda parte di intervento prevede la realizzazione della galleria idraulica per permettere la deviazione del Rio Chiappeto entro il Torrente Sturla; l'opera di lunghezza pari a circa 315m attraverserà prevalentemente i calcari marnosi della Formazione del Monte Antola (FA) e le argille e/o marne argillose afferenti alle Argille di Ortovero.

Per valutare i rischi connessi allo scavo della galleria sono state considerate le seguenti problematiche:

- Rilascio di terreni incoerenti;
- Presenza di terreni spingenti;
- Presenza di cavità carsiche;
- Sviluppo di cedimenti superficiali
- Presenza di litologie miste;
- Presenza di irruzioni acquifere;
- Presenza di gas metano.

L'indicazione delle diverse tipologie di rischi prevedibili lungo la galleria in progetto e le relative valutazioni qualitative sono state riportate nel Profilo geotecnico di progetto (Tavola T005).

In generale nel corso dello scavo entro i calcari della Formazione del Monte Antola (FA), il profilo di scavo potrà essere influenzato dalla presenza dei sistemi di fratturazione propri dell'ammasso roccioso. Entro tali litotipi è tuttavia possibile ipotizzare la presenza (caratterizzata da rischio medio) di fenomeni carsici influenzati dallo stato di fratturazione e dalla composizione prevalentemente calcarea dell'ammasso roccioso.

La presenza di fenomeni carsici condiziona inoltre la possibile presenza (caratterizzata da rischio basso) di terreni incoerenti, di litologie miste e di irruzioni acquifere. Tali rischi sono infatti legati alla presenza di cavità carsiche riempite di materiali incoerenti o debolmente coesivi in grado di svuotarsi rapidamente se intercettati e non consolidati durante lo scavo.

Lo scavo entro le argille e le marne argillose afferenti alle Argille di Ortovero potrebbe invece comportare problematiche legate alla deformabilità dei terreni, ed allo sviluppo di cedimenti superficiali per la cui previsione sono state effettuate specifiche analisi di subsidenza.